



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

**Facultad de Ingeniería Industrial**

**Escuela Profesional de Ingeniería Industrial**

**Diseño de experimentos aplicado al proceso de curvado  
de vidrio para incrementar la productividad en la  
fabricación de parabrisas**

**TESIS**

**Para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial**

**AUTOR**

**Henry Willy REMUZGO TOVAR**

**ASESOR**

**Daniel Humberto MAVILA HINOJOZA**

**Lima, Perú**

**2018**



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Remuzgo, H. (2018). *Diseño de experimentos aplicado al proceso de curvado de vidrio para incrementar la productividad en la fabricación de parabrisas*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Industrial, Escuela Profesional de Ingeniería Industrial]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

---



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)  
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

## ACTA N°048-VDAP-FII-2018

### SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO INDUSTRIAL

El Jurado designado por la Facultad de Ingeniería Industrial, reunido en acto público en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Industrial, el día **miércoles 05 de diciembre de 2018**, a las 12:00 horas, dio inicio a la sustentación de la tesis:

**"DISEÑO DE EXPERIMENTOS APLICADO AL PROCESO DE CURVADO DE VIDRIO PARA INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD EN LA FABRICACIÓN DE PARABRISAS"**

Que presenta el Bachiller:

**REMUZGO TOVAR HENRY WILLY**

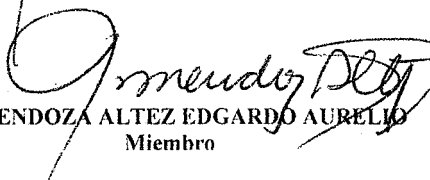
Para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial en la Modalidad: **Ordinaria.**

Luego de la exposición, absueltas las preguntas del Jurado y siendo las Trece horas se procedió a la evaluación secreta, habiendo sido Aprobado por Unanimidad con la calificación promedio de Diecisiete, lo cual se comunicó públicamente.

Ciudad Universitaria, 05 de diciembre del 2018

  
MG. CALSINA MIRAMIRA WILLY HUGO  
Presidente

  
ING. MALCA CHUQUIRUNA RAQUEL BEATRIZ  
Miembro

  
ING. MENDOZA ALTEZ EDGARDO AURELIO  
Miembro

  
MG. MAVILA HINOJOZA DANIEL HUMBERTO  
Asesor

## RESUMEN

En el área industrial, es cada vez más común la realización de experimentos o ensayos con el propósito de dar soluciones a problemas que se desarrollan en las fases de producción o la comprobación de una hipótesis, orientando los esfuerzos hacia la mejora continua, basada en altos niveles de productividad y de calidad. El objetivo de la investigación fue aplicar el diseño de experimentos al proceso de curvado de vidrio para aumentar la productividad en la fabricación de parabrisas de la planta eGlass. La metodología del estudio se enmarca en investigación de campo experimental en la que se desarrolla un diseño de experimento que evalúa el efecto que tienen los parámetros del horno asociados a la fracción defectuosa del proceso las cuales se determinó que son: tiempo de curvado, el rango de voltaje y los rangos de temperatura. Los resultados obtenidos, arrojaron que la variación en la fracción defectuosa es afectada significativamente por la variable voltaje, con un valor crítico de 4,53845454 y una probabilidad de cero, menor que el 5% de significancia establecido. Se propuso como solución establecer una variación no mayor a 2V respecto al valor promedio haciéndose una revisión al procedimiento operacional del horno modificándolo y estableciendo continuamente un seguimiento y control estadístico de la variable voltaje en el horno en el rango de 278 a 280 V. La implementación de esta solución redujo a la fracción defectuosa de 20% a 10% en promedio al mes. Obteniendo una mejora de la productividad de 1.559 a 2.107 piezas / Hombre-H promedio.

**Descriptores:** diseño de experimentos, curvado de vidrio, productividad, parabrisas

## ÍNDICE GENERAL

|  |     |
|--|-----|
| Resumen.....   | ii  |
| Índice general.....                                    | iii |
| Índice de figuras.....                                 | v   |
| Índice de cuadros .....                                | vii |
| Introducción .....                                     | 1   |
| Capítulo I .....                                       | 3   |
| Planteamiento del problema.....                        | 3   |
| 1.1. Identificación del problema.....                  | 4   |
| 1.2. Formulación del problema .....                    | 8   |
| 1.2.1. Problema general .....                          | 8   |
| 1.2.2. Problemas específicos .....                     | 8   |
| 1.3. Justificación del problema.....                   | 8   |
| 1.4. Objetivos de la investigación .....               | 9   |
| 1.4.1. Objetivo general .....                          | 9   |
| 1.4.2. Objetivo específico .....                       | 9   |
| 1.5. Formulación de hipótesis .....                    | 10  |
| 1.5.1. Hipótesis general .....                         | 10  |
| 1.6. Identificación y clasificación de variables ..... | 10  |
| 1.6.1. Variable dependiente .....                      | 10  |
| 1.6.2. Variable independiente .....                    | 10  |
| Capítulo II.....                                       | 11  |
| Marco teórico .....                                    | 11  |
| 2.1. Antecedentes de la investigación .....            | 12  |
| 2.2.1. Antecedentes nacionales.....                    | 12  |
| 2.2.2. Antecedentes internacionales .....              | 16  |
| 2.2. Bases teóricas .....                              | 22  |
| 2.2.1. Proceso .....                                   | 22  |
| 2.2.2. Curvado de vidrio .....                         | 25  |
| 2.2.3. Diseño de experimentos (D.E.) .....             | 27  |
| 2.3. Marco conceptual .....                            | 45  |
| Capítulo III.....                                      | 48  |
| Marco metodológico .....                               | 48  |
| 3.1. Tipo y diseño de la investigación.....            | 49  |
| 3.1.1. Tipo de investigación. ....                     | 49  |
| 3.1.2. Diseño de la investigación.....                 | 50  |

|  |     |
|--|-----|
| 3.2. Unidad experimental.....  | 50  |
| 3.3. Técnica de recolección de datos.....                            | 51  |
| Capítulo IV .....  | 53  |
| Análisis e interpretación de los resultados.....                     | 53  |
| 4.1. Generalidades de la empresa.....                                | 54  |
| 4.1.1. Visión, misión, valores.....                                  | 56  |
| 4.1.2. Organigrama de la empresa.....                                | 57  |
| 4.1.3. Proceso de curvado de vidrio.....                             | 58  |
| 4.1.4. Principales productos y líneas de producción.....             | 60  |
| 4.2. Implementación en el proceso de curvado de vidrio.....          | 60  |
| 4.3. Ciclo de Producción del Horno Curvado .....                     | 63  |
| 4.3.1. Procedimiento operacional del Horno Curvado .....             | 69  |
| 4.3.2. Procedimiento de control del Horno Curvado.....               | 73  |
| 4.3. Indicadores de evaluación del proceso .....                     | 74  |
| 4.4. Implementación del doe en el proceso de curvado de vidrio ..... | 74  |
| 4.4.1. Planificación del proyecto .....                              | 75  |
| 4.4.2. Medición de datos.....  | 93  |
| 4.4.3 Análisis e interpretación de resultados .....                  | 94  |
| 4.4.4. Mejorar y controlar el proceso. ....                          | 98  |
| 4.4.5. Verificación de los resultados. ....                          | 99  |
| Capítulo V.....  | 103 |
| Conclusiones y Recomendaciones.....                                  | 103 |
| 5.1. Conclusiones.....   | 103 |
| 5.2. Recomendaciones.....  | 104 |
| Referencias bibliográficas.....                                      | 105 |
| Anexos .....   | 107 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 1. 1. VIDRIO CURVADO FUERA DE ESPECIFICACIONES .....                 | 7  |
| FIGURA 1. 2. LOTE DE VIDRIO CURVADO RECHAZADO .....                         | 7  |
|   |    |
| FIGURA 2. 1. REPRESENTACIÓN DE UN PROCESO INDUSTRIAL. ....                  | 24 |
| FIGURA 2. 2. ESQUEMA DE UN DISEÑO DE EXPERIMENTO. ....                      | 28 |
| FIGURA 2. 3. CLASIFICACIÓN DE LOS DISEÑOS EXPERIMENTALES. ....              | 36 |
| FIGURA 2. 4. REPRESENTACIÓN DEL DISEÑO FACTORIAL $2^2$ (D.F. $2^2$ ).....   | 37 |
| FIGURA 2. 5. PASOS PARA LLEGAR AL ANOVA EN UN DISEÑO $2^K$ . ....           | 42 |
|   |    |
| FIGURA 4. 1. ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA.....                                 | 57 |
| FIGURA 4. 2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE CURVADO.....                  | 58 |
| FIGURA 4. 3. DIAGRAMA DE PROCESO DE FABRICACIÓN DE PARABRISAS PARTE 1 ..... | 61 |
| FIGURA 4. 4. DIAGRAMA DE PROCESO DE FABRICACIÓN DE PARABRISAS PARTE 2 ..... | 62 |
| FIGURA 4. 5. DIAGRAMA DE CICLO DE PRODUCCIÓN DEL HORNO .....                | 63 |
| FIGURA 4. 6. PRECALENTAMIENTO DEL HORNO. ....                               | 65 |
| FIGURA 4. 7. CARGA DEL VIDRIO. ....   | 66 |
| FIGURA 4. 8. DESCARGA DEL VIDRIO. ....                                      | 69 |
| FIGURA 4. 9. DIAGRAMA DE PROCESO DEL HORNO DE CURVADO.....                  | 70 |
| FIGURA 4. 10. DIAGRAMA DEL PROCEDIMIENTO OPERACIONAL DEL HORNO. ....        | 73 |
| FIGURA 4. 11. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO. ....                              | 75 |
| FIGURA 4. 12. CARRITO DE TRASLADO DE MOLDE .....                            | 77 |
| FIGURA 4. 13. CARRITO DE TRASLADO DE MOLDE .....                            | 77 |
| FIGURA 4. 14. MOLDES APILADOS. ....   | 77 |
| FIGURA 4. 15. GALGA DE CURVADO.....   | 78 |
| FIGURA 4. 16. CONEXIÓN NEUMÁTICA.....                                       | 78 |
| FIGURA 4. 17. MANÓMETRO .....   | 78 |
| FIGURA 4. 18. VIDRIO A CURVAR .....   | 79 |
| FIGURA 4. 19. MASTERGLASS DE CALIBRACIÓN.....                               | 79 |
| FIGURA 4. 20. MULETAS LATERALES E INFERIOR.....                             | 79 |
| FIGURA 4. 21. MULETAS CARGANDO EL VIDRIO SIN CURVAR .....                   | 79 |
| FIGURA 4. 22. VIDRIO APILADO .....  | 80 |
| FIGURA 4. 23. CARGA DE VIDRIO HORIZONTAL .....                              | 80 |
| FIGURA 4. 24. VIDRIO COLOCADO EN EL COCHE MÓVIL.....                        | 80 |
| FIGURA 4. 25. VIDRIO A ENTRAR AL HORNO.....                                 | 80 |
| FIGURA 4. 26. VIDRIO COLOCADO EN EL COCHE MÓVIL.....                        | 81 |
| FIGURA 4. 27. VIDRIO A ENTRAR AL HORNO .....                                | 81 |
| FIGURA 4. 28. CENTRALIZAR VIDRIO EN LA GALGA .....                          | 81 |
| FIGURA 4. 29. POSICIÓN DEL VIDRIO A MEDIR .....                             | 81 |
| FIGURA 4. 30. CENTRALIZAR VIDRIO EN LA GALGA .....                          | 82 |
| FIGURA 4. 31. POSICIÓN DEL VIDRIO A MEDIR .....                             | 82 |
| FIGURA 4. 32. VERIFICACIÓN CRITERIOS DE APROBACIÓN .....                    | 83 |
| FIGURA 4. 33. PROGRAMA DE MEDICIÓN .....                                    | 83 |
| FIGURA 4. 34. VIDRIO APROBADO.....  | 83 |
| FIGURA 4. 35. CONTROL DE PRODUCCIÓN.....                                    | 83 |



|   |     |
|---|-----|
| FIGURA 4. 36. TOTALES PIEZAS FABRICADAS VS PIEZAS DEFECTUOSAS.....  | 84  |
| FIGURA 4. 37. DIAGRAMA CAUSA-EFECTO DE LA DEFECTOS EN EL HORNO. ....                                      | 86  |
| FIGURA 4. 38. VISUALIZACIÓN DE DEFECTOS DEL PARABRISAS.....   | 88  |
| FIGURA 4. 39. ROTURA DEL OUTER .....  | 88  |
| FIGURA 4. 40. DEFECTO PROMEDIO VS % ACUMULADO. ....   | 88  |
| FIGURA 4. 41. DIAGRAMA DE PARETO PARA LOS VALORES F. ....   | 96  |
| FIGURA 4. 42. TOTALES PIEZAS FABRICADAS VS PIEZAS DEFECTUOSAS POSTERIOR A LA<br>APLICACIÓN DE MEJORA..... | 100 |
| FIGURA 4. 43. INDICADOR DE PRODUCTIVIDAD. ....  | 101 |

## ÍNDICE DE CUADROS

|  |     |
|--|-----|
| CUADRO 2. 1. CLASIFICACIÓN GENERAL DE PROCESO DE MANUFACTURA. ....                                     | 25  |
| CUADRO 2. 2. SIGNOS PARA EL DISEÑO 2 <sup>2</sup> .....  | 41  |
| CUADRO 2. 3. ANOVA PARA EL DISEÑO FACTORIAL 2 <sup>2</sup> .....                                       | 44  |
| CUADRO 4. 1. VARIABLES DE REFERENCIA DEL HORNO DE LA LÍNEA .....                                       | 71  |
| CUADRO 4. 2. CANTIDAD DE PIEZAS PRODUCIDAS DE PARABRISAS VS PIEZAS<br>DEFECTUOSAS AÑO 2017-2018. ....  | 84  |
| CUADRO 4. 3. DEFECTOS EN EL HORNO. ....  | 85  |
| CUADRO 4. 4. DEFECTOS PROMEDIO Y ACUMULADO. ....   | 87  |
| CUADRO 4. 5. CONTROL DE PARÁMETROS DEL HORNO. ....   | 89  |
| CUADRO 4. 6. PARÁMETROS DEL HORNO EN EL PROCESO DE CURVADO DE VIDRIO. ....                             | 91  |
| CUADRO 4. 7. ALEATORIZACIÓN DE LAS OBSERVACIONES PRIMERA REPLICA. ....                                 | 92  |
| CUADRO 4. 8. <i>MEDICIÓN DE DATOS DISEÑO DE EXPERIMENTO</i> .....                                      | 93  |
| CUADRO 4. 9. ANÁLISIS DE VARIANZA VARIAS MUESTRAS POR GRUPO .....                                      | 95  |
| CUADRO 4. 10. ANÁLISIS DE VARIANZA .....   | 96  |
| CUADRO 4. 11. MATRIZ DE VALORES OPTIMOS DEL CURVADO DE VIDRIO .....                                    | 99  |
| CUADRO 4. 12. CANTIDAD DE PIEZAS PRODUCIDAS DE PARABRISAS VS PIEZAS<br>DEFECTUOSAS AÑO 2017-2018. .... | 100 |
| CUADRO 4. 13. INDICADOR DE PRODUCTIVIDAD ANTES Y DESPUÉS DE LA MEJORA .....                            | 101 |

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la productividad ha desarrollado un auge para las empresas a nivel mundial, debido a los sistemas de indicadores que monitorean el uso eficiente de los recursos de los cuales se disponen y para poder cumplir con las metas organizacionales que se han planteado. Cada día se hace recurrente la aplicación estadística referida al diseño de experimentos con el propósito de encontrar soluciones a problemas que se originan en los procesos productivos o mejora continua de los mismos; estas incluyen entre otras: modificación metodologías o ambientes de operación de un proceso, variación de parámetros en alguna maquinaria para aseguramiento de condiciones adecuadas que mejoren la calidad del producto o síntesis de un material innovador con el objetivo de alcanzar mejoras o anular cualquier problema antes de presentarse o agravarse.

Este es el caso de la empresa en estudio, la cual tiene dos años de operaciones en la producción de parabrisas de seguridad y cuyo valores de fracción defectuosa ha llegado a alcanzar valores promedios de hasta 20% mensual en los últimos 6 meses. Valores que afectan a largo plazo el uso eficiente de los recursos, así como la sustentabilidad de la empresa, debido a la pérdida inherente a esta situación y a los retrabamos que estas implican. Ante este panorama, el siguiente trabajo de se desarrolla en diferentes capítulos, estructurados de la siguiente manera:

Capítulo I, donde se desarrolla la identificación, formulación y la justificación del problema, los objetivos: General y específicos, así como la formulación de hipótesis e identificación de variables. Luego el Capítulo II, Marco Teórico de la investigación; este apartado contiene los elementos relacionados con los antecedentes vinculados con la

investigación, se plantean las bases teóricas y marco conceptual. Continúa con el Capítulo III, el Marco Metodológico; donde se hace referencia tipo, y diseño de la investigación, la unidad experimental además de las técnicas de recolección de datos, y las técnicas de análisis de los datos. En el capítulo IV se refleja el análisis de los resultados y su interpretación, posteriormente se presentas las conclusiones

**CAPÍTULO I**  
**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **1.1. Identificación del problema**

Cada vez es más complejo el mercado donde se desarrollan las empresas industriales, por la influencia de los constantes adelantos tecnológicos, a la exigencia de procesos productivos más eficientes y a las expectativas de grandes estándares de calidad demandados por los consumidores. Para ello es indispensable orientar los esfuerzos hacia la mejora continua, basada en altos niveles de productividad y de calidad.

Es por esta razón que, en estos años el escenario mundial obliga las empresas a realizar cambios para ir a la par de la globalización, la implacable competencia a nivel global exige a las empresas una mayor productividad, variedad, calidad, menor costo y tiempo de respuesta, por lo que estas necesitan la aplicación de métodos diseñados desde una perspectiva científica que permite enfrentar todos estos desafíos como lo hacen grandes empresas líderes en el mundo. Actualmente la productividad ha tomado mayor relevancia para las organizaciones a nivel mundial, gracias a los índices marcados por un indicador sobre el uso de los recursos utilizados y de esta manera cumplir con las metas de productividad que se han planteado. Para cumplir estas expectativas se debe lograr un desarrollo completo de la empresa industrial, logrando establecer una fuerte área para investigar y desarrollar permitiendo la incorporación de las innovaciones en los productos o procesos.

En el área industrial, es cada vez más común la realización de experimentos o ensayos con el propósito de dar soluciones a problemas que se desarrollan en las fases de producción o la comprobación de una hipótesis; son ejemplo los caso como, hacer ligeras

variaciones en las propiedades de los materiales, modificar metodologías o ambientes de operación de un proceso, variación de rangos de temperaturas en alguna maquinaria para garantizar la condiciones adecuadas que mejoren la calidad del producto o síntesis de un material innovador con el objetivo de alcanzar mejoras o anular cualquier problema. No obstante, es cotidiano que los ensayos científicos se lleven a cabo en paralelo a la realización de la producción, basados en el ensayo y error, fundamentándose en la experticia y en la perspicacia, en vez de continuar con una estrategia experimental que obtenga una satisfactoria respuesta al problema.

Asimismo, sucede con la sistematización de los datos científicos obtenidos, puesto que la dinámica de las empresas de producción lleva al conjunto de investigadores industriales a realizar análisis empíricos, sin ninguna rigurosidad que permita tener en cuenta que los datos pueden variar. La realización de experimentos basados en el ensayo y error, en algunos consigue alcanzar mejoras, sin embargo, en circunstancia de mediana complejidad no basta con utilizar esta estrategia, lo más conveniente para estas situaciones es garantizar la manera en que se van a obtener las respuestas a los problemas generados en lapsos cortos y utilizando los recursos mínimos. Este es el caso de esta planta eGlass, la cual tiene dos años de operaciones en la producción de parabrisas de seguridad, en donde las piezas de cada proceso se definen con cuatro grados de calidad, lo cuales se describen a continuación:

- Grado 1: Piezas que cumplen con las especificaciones llamadas “Estándar”

- Grado 2: Piezas que no cumplen con las especificaciones, pero es útil funcionalmente llamadas “Concesión”

-Grado 3: Piezas que no cumplen con las especificaciones, pero pueden ser reprocesadas llamadas “Reproceso”

-Grado 4: Piezas que no cumplen con las especificaciones llamadas “Rechazo”

Sin embargo, en el proceso de curvado de vidrio, se están presentando mayores devoluciones en la planta, por motivos del incumplimiento de los estándares de calidad del subproducto obtenido en el mencionado proceso, generando un mayor número de piezas de grado 3 y 4. Los estándares de calidad establecen que solo serán aceptados los que tengan mayor grado.

Esto ocasiona un gran impacto en la producción debido a que se generan pérdidas de material primario, parada no programada de la producción para ajustar los parámetros que están involucrados en este proceso, exceso de hora-hombre trabajada a consecuencia del reproceso de las piezas que son rechazadas, el no cumplimiento de las metas de producción, asimismo el aumento de los precios de la producción y la pérdida de materia prima, afectan de forma importante la productividad de la planta y afectando la rentabilidad de la organización en las figuras 1.1 y 1.2 se evidencia la cantidad de piezas que no cumplen los estándares de calidad requeridos por los clientes de la línea 1 de curvado de vidrio.

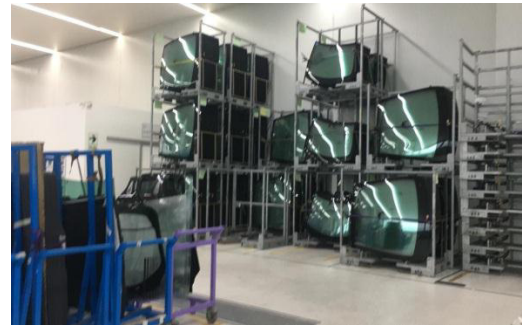


**FIGURA 1. 1. VIDRIO CURVADO FUERA DE ESPECIFICACIONES**



Fuente: Elaboración Propia

**FIGURA 1. 2. LOTE DE VIDRIO CURVADO RECHAZADO**



Fuente: Elaboración Propia

Por lo antes expuesto, en esta investigación se busca dar solución al problema que existe en el proceso de curvado de vidrio, para lo cual se utiliza el diseño de experimento, que es considerado como la técnica estadística más versátil de experimentación que se puede aplicar en cualquier proceso productivo que tenga falla en la obtención del producto (Gutiérrez, 2008).

El diseño de experimento permite determinar las pruebas que se deben aplicar y de qué manera, para la obtención de datos que permitan, al ser examinados estadísticamente, certezas imparciales que den respuestas a las interrogantes formuladas, y de esa manera evidenciar cuales son los factores que afectan el proceso de curvado de vidrio y permita solucionar el gran número de subproducto fuera de especificaciones logrando la mejora del proceso productivo.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema General**

¿De qué manera la aplicación del diseño de experimentos al proceso de curvado de vidrio incrementará la productividad en la fabricación de parabrisas?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Qué aportes generará el diagnóstico de la situación actual al proceso de fabricación de parabrisas?
- ¿Qué aspectos se podrán determinar con el análisis y diseño experimental de los procesos críticos tomando en consideración las variables críticas que permitan mejorar el proceso del curvado de vidrio?
- ¿Cuáles son las mejoras que optimizaran el proceso?

## **1.3. Justificación del problema**

Realizar experimentos forma parte del gran número de las investigaciones científicas en el área industrial, por lo tanto, las consecuencias del proceso interesado influyen por la existencia de diversos factores, cuyo impacto puede estar inmerso en la variabilidad de los resultados muestrales y no ser detectados. Al descubrir esto, se debe experimentar, modificando las circunstancias que intervienen a los elementos experimentales y tener

atención en la variable de respuesta. La herramienta del análisis y diseño experimental se puede aplicar a todo tipo de proceso productivo que desean controlar y luego mejorar sus resultados. La presente investigación, está justificada de la siguiente forma:

- a) Análisis de las variables que causan deficiencias en la línea de producción de parabrisas.
- b) Controlar las variables que tienen un gran impacto en la estabilidad del proceso.
- c) Mejorar el rendimiento del proceso buscando ser una empresa competitiva.
- d) Se incrementa la productividad en la empresa.
- e) Generar un antecedente para próximos trabajos de investigación en el área de producción y el diseño de experimento.

#### **1.4. Objetivos de la investigación**

##### **1.4.1. Objetivo general**

El diseño de experimentos al proceso de curvado de vidrio para aumentar la productividad en la fabricación de parabrisas.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Diagnosticar la situación actual del proceso de fabricación de parabrisas.
- Analizar la información recolectada de los procesos críticos para encontrar las causas de variación del proceso de fabricación de parabrisas y seleccionar las variables críticas que están ocasionando problemas de calidad.
- Elaborar el diseño de experimentos de los procesos críticos teniendo en cuenta las variables críticas.
- Desarrollar propuestas para establecer las variables de operación, con la finalidad de optimizar el proceso.

## **1.5. Formulación de hipótesis**

### **1.5.1. Hipótesis General**

La herramienta estadística del análisis y diseño experimental (DOE) mejora la productividad de la fabricación de parabrisas.

### **1.5.2 Hipótesis Específico**

La herramienta estadística del análisis y diseño de experimentos (DOE) disminuye los defectos en la fabricación de parabrisas.

La herramienta estadística del análisis y diseño de experimentos (DOE) incrementa la competitividad en la fabricación de parabrisas.

## **1.6. Identificación y clasificación de variables**

### **1.6.1. Variable Dependiente**

Proceso de fabricación de parabrisas

### **1.6.2. Variable Independiente**

Diseño y análisis experimental del proceso

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

## **2.1 Antecedentes de la investigación**

### **2.2.1. Antecedentes nacionales**

Sifuentes (2017), en su investigación titulada: “Mejora de la productividad en una empresa de empaques flexibles aplicando la herramienta Single Minute Exchange of Die (SMED)”, presentado ante la ilustre Universidad Nacional Mayor de San Marcos, para obtener el título profesional de Ingeniero Industrial, su objetivo general, fue tener una buena cadena productiva en el campo de la impresión, es decir cumplir con el programa de producción, para poder continuar con los demás procesos y así cumplir con la fecha de entrega al cliente. Por lo tanto, se basó en una investigación del tipo descriptivo y aplicada, la muestra de estudio fue una máquina que la gerencia considero la más adecuada puesto que es la que trabaja todos los días y puede hacer todos los trabajos, como técnica de recolección de datos utilizaron la observación no participante y se utilizó como método, el Estudio de Tiempos.

Los resultados que obtuvo el investigador luego del uso del instrumento SMED, se logró disminuir los tiempos muertos, siendo el problema principal el cambiar el producto, como demandante de usar demasiado tiempo según las observaciones realizadas, los que destacan: el cambio de producto se disminuyó de 2.12 horas promedio por cambio de producto a 1.5 horas promedio, con lo cual la variable T aumentó de 31% a 49.4%. Por otro lado, la cantidad de número de cambios de producto que hasta agosto del año 2013 no superaba los 76 cambios mensuales promedio, aumentó a 110 lo que representa un 44% mensual, permitiendo incrementar el número de productos a realizar. Con el aumento en la variable T, se aumentó por consecuencia el valor del Indicador TVC, aumentando de 24% a 39% lo cual significó el incremento de 253 a 298 horas mensuales

ejecutables. El investigador llegó a la conclusión que se logró incrementar la productividad en el proceso de impresión, minimizando sus tiempos muertos, con el uso del instrumento SMED, obteniendo grandes resultados, teniendo el reconocimiento y la conformidad total por de la Gerencia General.

Alcántara (2017), en la tesis de grado titulada, “Análisis y mejora de procesos en una empresa de automatización industrial y electrificación aplicando la metodología DMAIC”, presentada ante la Pontificia Universidad Católica del Perú, para optar al título de Ingeniero Industrial, tuvo como propósito proponer mejoras en una empresa de automatización industrial y electrificación utilizando como herramienta la metodología DIMAIC. Para alcanzar este objetivo, realizó un diagnóstico de la organización, luego definir los procesos de ingeniería para proyectos que involucran salas eléctricas, a continuación, se analizó la voz del cliente identificando los factores críticos para el cliente que se encuentran en el proceso y que se transformarán en indicadores medibles llamados variables del proceso.

Seguido, se midieron estas variables de acuerdo al tipo de documento más crítico, se realizaron las pruebas de normalidad correspondientes, así como también, se elaborará las gráficas de control, para luego llevar a cabo el análisis de capacidad del proceso. Seguidamente, se analizaron las causas que originaban la alta cantidad de revisiones en los tipos de documentos, dibujos y la alta variación del tiempo de entrega en este mismo tipo de documento, las herramientas utilizadas para estos análisis fueron: el diagrama causa-efecto, analizando las causas relacionada con el problema, así como realizaron el

análisis modal falla efecto y así calcular la prioridad riesgos de los modos de falla para el proceso.

Una vez hecho los análisis correspondientes, se realiza la mejora, en este sentido se propuso desarrollar un diseño de experimentos con el fin de identificar la combinación de valores óptimos de los factores críticos en el proceso de ingeniería, estandarización de procesos como medida para mejorar el proceso de desarrollo de ingeniería, además se propuso el uso del método Poka Yoke para evadir los futuros problemas inadvertidos. Aunado a lo anterior, se propuso un plan de capacitación técnica al personal para la actualización de las herramientas informáticas propias de sus actividades, así como también en temas de mejora continua.

Cuya (2017), propuso un trabajo titulado “Aplicación de la metodología DMAIC para mejorar la productividad en el proceso de impresión de publicidad de la empresa LVC contratistas generales S.A.C., SJL, 2017”. La misma se enfocó en determinar la mejora en la productividad del proceso de impresión de publicidad en la empresa LVC Contratistas Generales S.A.C. como consecuencia de la aplicación de la metodología DMAIC. Para ello, utilizaron un diseño cuasi-experimental basado en la medición antes y después de la metodología DMAIC en una muestra de 12 semanas. Los resultados muestran que la metodología DMAIC incrementa significativamente la productividad en un 34.34%, la eficacia en 17,07% y la eficiencia 29,59%. Concluyen que se debe ampliar la capacitación de la metodología a todos los empleados del área operativa de la empresa pues la mejora resulta significativa.



Callo (2017) elaboró una investigación denominada “Propuesta de mejora para aumentar la productividad, basado en un estudio de tiempos y determinación del tiempo estándar de la línea de producción de vidrio insulado en la Corporación Vidrio Glass”, teniendo como objetivo general la propuesta de mejoras para aumentar la productividad, en base al estudio de tiempos y determinaciones de la producción en la línea de vidrio insulado, de la mencionada empresa. La metodología estuvo enfocada en un diseño cualitativo, de tipo descriptivo, donde se usó la técnica de la observación y posteriormente el análisis de los resultados de dicha observación. El los resultados, se determinó en cuanto a la producción, lo que se refiere al tiempo estándar, y los procesos que pueden ayudar a mejorar la productividad, además se incrementó la productividad parcial de mano de obra que en el método actual era de 74% y en el método propuesto se consigue una productividad del 94% en una jornada de trabajo, incrementándose. En conclusión, se puede decir, que la aplicación de herramientas de ingeniería tuvo resultados significativos en cuanto a la producción se refiere, de igual forma se consiguió disminuir la cantidad de obreros en el área.

Navarro y Paz (2016), desarrollaron un trabajo de grado titulado, “Optimización en la Capacidad de Producción de un Horno de Curvado Continuo, para Aumentar la Productividad en la Empresa AGP Perú SAC.” Presentado ante la Universidad Privada del Norte, para optar al título de Ingeniero Industrial, el cual tuvo como objetivo general, optimizar la capacidad de producción de un horno de curvado continuo, para aumentar la productividad en la empresa AGP Perú SAC., para ello realizaron el diagnóstico de la situación actual del Horno curvado XXL, se analizaron y compararon los años anteriores de producción del horno, desde el 2014 hasta 2015 antes de la mejora, luego se analizaron

las posibilidades de mejoras para el horno XXL, posterior a esto midieron la producción del horno en el año 2016 después de la mejora y la compararon con los años anteriores, por medio de la productividad, evidenciándose un incremento de la misma, en el 2015 la productividad fue de 0.103 piezas/H\*hombr e y en el 2016 fue de 0.111 piezas/H\*hombr e.

De la misma manera, la mejora logró la disminución del tiempo de total en el horno en un 10,9% al comparar los años 2015 con 2016. La mejora propuesta tuvo un impacto significativo ya que se estima que para septiembre del año 2016 el volumen de la producción tenga un incremento de un 25% en comparación al del año 2015. Los investigadores concluyeron que se logró el aumentó la productividad del horno XXL en un 7.2%, siendo reflejado esto en un aumento de 3 puntos porcentuales, resultado que deriva de la comparación de rentabilidad de los años 2015 y 2016.

### **2.2.2. Antecedentes internacionales**

Moyano, Santilla, Sánchez, Rea, y Guaman (2017), desarrollaron una investigación titulada, “Diseño factorial mixto para control de temperaturas en las inyectoras del proceso productivo de calzado”, el propósito de esta fue controlar la variabilidad de temperaturas de las diferentes zonas de las inyectoras en la producción de calzado, para lo cual utilizaron como metodología el de Diseño de Experimentos, que mediante corridas aleatorias vigiladas se establecieron las combinaciones de temperatura en las cuatro zonas de estudio, luego se obtuvieron las gráficas de efectos principales, la de cubos, estas indican los límites superior e inferior y la meta que debe poseer, a estos resultados se le optimiza la variable respuestas, donde se pueden visualizar como solución las temperaturas de las cuatro zonas para así controlar el sistema y tener un producto de calidad, evitando

pérdidas de materia prima, insumo y económica para la organización. El diseño fue realizado mediante pruebas de campo aleatorizadas, resueltas en el programa Minitab. Las temperaturas óptimas para el proceso fueron: para la máquina INY2 de Z1(165°C), Z2(190°C), Z3(200°C) y Z4(120°C) y la máquina INY1 de Z1(165°C), Z2(195°C), Z3(200°C) y Z4(120°C). Además se realizó un análisis del control de fallas, calculando inicialmente en INY2 e INY1 en las cuatro zonas con un resultado inferior a 1,33 considerada inadecuada, por lo que al realizar el diseño de experimentos se procede al control respectivo.

Geórgicos y Glacian (2017). Realizaron una investigación referente a las tecnologías digitales para encontrar soluciones óptimas, oportunas, confiables y al mismo tiempo más seguras para la construcción de sistemas de producción modernos con respecto que cumplan las regulaciones nacionales e internacionales, además de cumplir con los preceptos o principios de sostenibilidad social y ambiental. El trabajo se planteó como propósito analizar las nuevas y modernas herramientas de software que fueron proporcionadas a la industria, hoy en día tienen capacidades mucho más extensas que la simple construcción de un sistema de producción instalado.

Se realizaron estadísticas precisas sobre el rendimiento del sistema que proporcionan múltiples herramientas gráficas para analizarlas con la ayuda de muchos KPIs diferentes. Una tarea importante que los software modernos deben cumplir, es que deben ser capaces de simular las herramientas o soluciones para la mejora de la productividad de los sistemas existentes Por lo tanto, en este proyecto de tesis, presentó una nueva herramienta de software de simulación desarrollada por Dassault Systems, llamada, DELMIA 3D Experience, la cual podrá ser utilizada como herramienta de software para implementar

una representación y simulación en 3D de cualquier sistema de producción y poder mejorar la productividad del sistema.

Luna (2016). En la tesis doctoral titulada, “Diseño de experimentos y modelación de optimización en la industria de procesos”, tuvo como objetivo la optimización experimental de procesos que muestran una alta incertidumbre respecto de su comportamiento, la metodología aplicada fue el diseño de experimentos dinámicos que permitan incrementar el desempeño del proceso, se analizan la particularidades de estos métodos y su convergencia y finalmente se aplica a diversos casos que se relacionan con la industria de procesos químico y biotecnológica. Tres casos de estudio de interés en la industria química y biotecnológica son generados vía simulación para ejemplificar el uso del método. Posteriormente, se ejecutó un análisis de la convergencia y de las particularidades principales del método.

Para finalizar, se afronta un nuevo caso de estudio que implica la ejecución de ensayos a escala banco, lo que permite explicar la aplicabilidad y fiabilidad de la metodología en un problema real. El investigador llegó a la conclusión que la metodología presenta ciertos desafíos. Inicialmente, está orientada a personas que tengan conocimientos de ingeniería de procesos, debido a que se necesitan desarrollar un modelo de tendencia del proceso. De igual manera deberá tener competencias en el método ya que se debe ajustar los parámetros máximos de experimentos, factor de reducción, entre otros. Para finalizar, es la presencia de variabilidad entre lotes. Esta metodología en su implementación actual se enfoca a solucionar problemas relacionados a procesos repetitivos.

Arboleda y Pérez (2015) realizaron una investigación titulada Análisis y Diseño de Experimentos del Proceso de Doblado de la Empresa Carvajal Espacios, el cual fue publicado en la revista Colección Académica de Ciencias Estratégicas en el volumen 2, número 2, el propósito de los investigadores se trazaron fue el análisis y diseño de experimentos del proceso de doblado de piezas para el ensamble de muebles metálicos en la empresa Carvajal Espacios, para ello identificaron las variables controlable (ángulo), y la no controlables (presión y medidas de la pieza) del proceso, luego se plantearon las hipótesis de la investigación, luego se procedió a establecer la propuesta de soluciones basado en 2 tipos de diseño de experimental, el ANOVA y Repetitividad & Reproducibilidad, los cuales para el primero se obtuvo que el ángulo no afecta significativamente el ancho de la pieza y para el segundo se evidencio que existe variación en el proceso, obteniéndose un %R&R de 92, esto indico la necesidad del sistema para mejora.

Los investigadores llegaron a la conclusión que los resultados no fueron lo que esperaban, porque la organización tiene estandarizado que el ángulo que utilizan es de 90°, y cuando se genera un valor distinto del mismo, conlleva que en los procesos siguientes se vean afectados los resultados, permitiendo tomar la decisión que a medida que se esté ejecutando el proceso de doblado es poco probable que se presenten inconvenientes, pero al tener diversos ángulos en el área posterior se observaran no conformidades, finalmente se elaboró una propuesta de rediseñar los pasos del proceso de producción, que vaya en concordancia con lo establecido en las especificaciones que permitan apoyar el proceso, atendiendo las exigencias de la empresa y del cliente, de esta forma minimizar el grado

de dispersión, de forma que se ajuste la tolerancia y disminuir el número de no conformidades.

Arboleda, Escobar y Salcedo (2015) desarrollaron una investigación que titularon “Estudio de Mejora del Proceso de Soldadura de Soldame del Valle S.A.S. a partir de Análisis y Diseño de Experimentos”, enfocándose en el estudio del proceso de soldadura de la empresa Soldame del Valle S.A.S., en la unión de láminas de recubrimiento para vagones y/o contenedores utilizados para la transportación de distintos materiales, para el logro de esta meta, se realizó un diagnóstico de la situación actual del proceso de soldadura donde se mediante el control estadístico de proceso, luego se seleccionaron dos variables de controlables críticas en el proceso la cuales fueron: limpieza de las piezas a unir, y la intensidad de corriente con que opera la maquinaria; con esta se elaboró el diseño de experimento.

Posterior a ello, se realizó un análisis de varianza ANOVA de un solo factor, para determinar la existencia de una variación o diferencia en la calidad de la soldadura, con una limpieza previa de la muestra. De esta manera, realizaron un diseño de experimento de un solo factor, para determinar la variación entre los diferentes tratamientos por la intensidad de corriente. Para el análisis de los datos utilizaron el paquete estadístico MINITAB. Entre los hallazgos encontrados por los investigadores se observa que para el análisis ANOVA se encontró que sí existe variación en cuanto a la limpieza de la muestra. La pieza con limpieza previa mejora la calidad, para el diseño de experimento se evidencio que existe variación en los tratamientos según el amperaje, destacando que el tratamiento que genera mejor calidad en la pieza es el de 100 A, y el de menos calidad el

de 123 A. Los investigadores concluyeron que al aplicar estos diferentes análisis de diseños de experimentos al proceso de soldadura que sometieron en la empresa Soldame del Valle S.A.S., podemos concluir que el nivel de estandarización y el control que se aplica a los procesos es muy bajo, lo cual representa una desventaja frente a la competencia.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Proceso**

El proceso se entiende como agregado de labores o actividades lógicas realizadas bajo condiciones específicas y controladas para efectuar un determinado propósito, a través del tiempo y lugar, impulsado por un evento (Hitpass, 2012). A continuación, se detallan cuatro características importantes que describen a todo proceso:

1. Es debido comenzar un evento externo para que comience la reacción del proceso, y su flujo.
2. Todo proceso debe cumplir un fin determinado.
3. Las labores de un proceso gastan tiempo y recursos.
4. Las actividades en un proceso forman una serie lógica que determinan en unión el entorno de la organización.

Sin embargo, la definición previa es un concepto básico de proceso. En consecuencia, será preciso explicar cómo se interpretan los procesos desde la óptica de las empresas. Asimismo, se establece que en el campo de la ingeniería industrial el proceso es importante, relevante, y el mismo requiere de 5 etapas para su logro, como son: Planear, Integrar, Organizar, Dirigir y Controlar (Guerrero, 2008)

En este sentido, el proceso industrial hace énfasis en el hecho que ocurre cuando se convierten los fundamentos como: materia, energía e información y desde de la conexión



de estos, en su mayoría de materia y energía, obteniendo un producto palpable. Es importante destacar que los procesos productivos son una herramienta para:

- El diseño y la delimitación de planes, programas y proyectos
- El diseño, integración, organización, dirección y control de sistemas
- La optimización del trabajo
- La valoración de resultados
- Implementación de normas de calidad
- El aumento y control de la eficiencia.

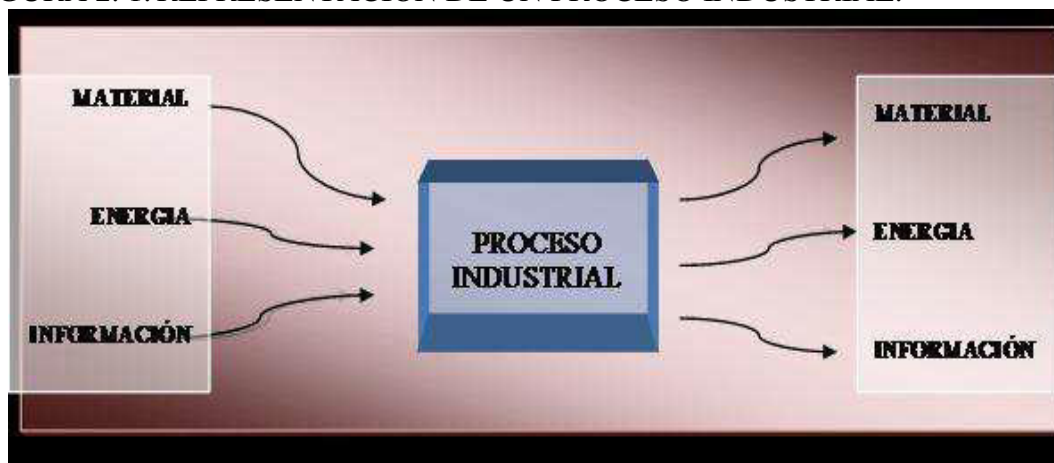
#### **2.2.1.1. Estructura de un proceso**

En primer lugar el elemento materia, que en la industria es el material, o materia prima (M.P.) que forma el producto, se constituyen de materiales con características específicas y acabado. Cada M.P. tiene condiciones propias que permiten que sea procesada en concordancia con exigencias técnicas del cliente y por ello con las propiedades de funcionamiento que deban tener en el transcurso de su vida útil o servicio.

A continuación, se tiene la energía, representa en la industria como la corriente eléctrica, mecánica, hidráulica, química, térmica, neumática, entre otras, es considerado en el sector industrial para la utilización de herramientas, máquinas o equipos, que permite realización del proceso, a través de generar, transformar y los movimientos de elementos. La energía total consumida en un proceso se disemina entre la invertida en la modificación fisicoquímica de la M.P. y los desperdicios al interior de los equipos (eficiencia).

Como último, se tiene la información que define los valores o rangos de estos donde las variables del proceso deberían tolerar; aparecen en los reportes de su comportamiento; variables de proceso como presión, temperatura, posiciones espaciales, velocidades, como demás especificaciones del producto terminado. En la figura N° 3 se presenta un esquema de la estructura de un proceso industrial.

FIGURA 2. 1. REPRESENTACIÓN DE UN PROCESO INDUSTRIAL.



Fuente: Guerrero (2008)

#### 2.2.1.2. Proceso de manufactura

Los procesos de manufactura son acciones coherentes, sistemáticas y sucesivas, mediante el uso de maquinarias, herramientas o equipos, con la finalidad de convertir M.P, para la terminación de un producto. Asimismo, la existencia de una variedad de enunciados de proceso, existiendo la diversidad de tipos, clasificaciones de procesos de manufactura; seguidamente se describe como una propuesta generalizada para su clasificación.

CUADRO 2. 1. CLASIFICACIÓN GENERAL DE PROCESO DE MANUFACTURA.

| Procesos de manufactura | Categoría 1                                  | Categoría 2                                   | Proceso  |
|-------------------------|--|---|--|
|                         | Conformación por Desprendimiento de Material |   | Torneado<br>Taladrado<br>Fresado<br>Cepillado<br>Aserrado<br>Mandrinado<br>Brochado<br>[de engranajes]<br>[escopleado]<br>Embutido prof.<br>Laminado<br>Forjado<br>Extrusión |
|                         | Conformación forzada                         |   | Proceso<br>Fundición<br>Soldadura<br>Extrusión   |
|                         | Conformación forzada                         | Conformación térmica<br>Materiales Sintéticos | Soplado<br>Dureza<br>Tratamientos<br>Térmicos  |
|                         | Complementarios                              |   | Tratamientos   |

Fuente: Guerrero (2008)

### 2.2.2. Curvado de vidrio

El proceso de curvado de vidrio para la fabricación de parabrisas de seguridad viene dado por 6 etapas que se describen a continuación:

1. **Corte y serigrafía:** primero, se elige el cristal no procesado, con el tintura y con las especificaciones ópticas del parabrisas que se va a producir, con las medidas pedidas en tamaño y estructura que se requieren por modelo, luego se modelan los bordes por un proceso de gastado de filos. En realidad no corta la máquina solo marca el parabrisas, posteriormente una persona lo destaza, es decir, quita todo el sobrante deja solo la silueta que va a formar el parabrisas, para que sea

enviado a serigrafía porque la emisión de rayos ultravioleta, pasa por filtro de color y no degrada la anterior instalación con uretano del producto.

Una vez que se lava y se seca el vidrio, se emplean procesos serigráficos mediante un armazón y la aplicación de un esmalte negro, coloreándola en esa tonalidad.

2. **Moldeo o curvado:** las dos láminas cristalina que componen lo que será el vidrio de seguridad se sitúa en una bastidor y es pasado al horno, donde se pasa por un proceso de moldeo por gravedad: la temperatura (T), se aumenta gradualmente alcanzando los valores de la operación entre 500 ° C y 700 ° C, en esta temperatura las láminas se curvan en la armazón metálica por consecuencia de la gravedad, tomando así la característica especificada del parabrisas. Para los parabrisas pequeños los rangos de curvado de 500 ° C a 550 ° C, en parabrisas grandes se curvan de 540 ° C, a esta temperatura se debe activar los brazos por medio de pesos. A 600 ° C por lo general sale ya el curvado.
3. **Armado:** una vez que se enfrían, el par de láminas de cristal se aíslan, ubicándose de manera manual entre ellas una capa de PVB (poli vinil butiral) en una cámara estéril, impidiendo la contaminación. Luego se pasa a la etapa de proceso de pre-laminado mediante un pre-cocido de succión y temperatura. Con esta etapa se logra un subproducto de seguridad, asegurando un producto resistente a daños por vandalismo.
4. **Desairado:** es un proceso que retira gran parte del aire que está entre las capas de vidrio y el PVB, lo que resta de aire lo hará el autoclave, ya se mencionó

anteriormente que el vidrio plano laminado no pasa por desairado, pasa por laminadora y va directamente a almacén.

5. **Autoclave:** luego que el proceso de pre-laminado de los productos es procesado a  $T = 140^{\circ}\text{C}$  y 12 bar, en el mismo se origina la culminación del proceso de un laminador, la asociación de los polivinilos y las estructuras cristalinas, quedando 75 % de transparencia requerida como mínimo sin desviaciones espectrales y garantizando el 100%, esto quiere decir que estamos de cara a un producto de seguridad garantizada.
6. **Inspección y despacho:** esta es la etapa de culminación del proceso donde se ejecutan los ensayos de acuerdo a la normativa, cuando el producto es certificado se despacha a las bodegas de productos culminados, para luego suministrarlo a los clientes (Navarro y Paz, 2016).

### 2.2.3. Diseño de experimentos (D.E.)

Las personas que trabajan la investigación ejecutan experimentos virtualmente en todas las áreas del conocimiento, usualmente para revelar algo sobre un proceso o sistema en específico. Las investigaciones pueden ser para descubrir o confirmar algún conocimiento.

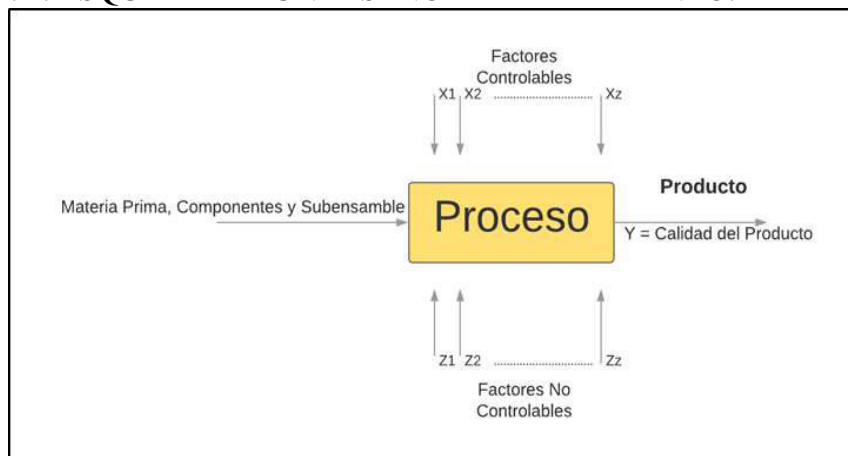
En un experimento existen las pruebas o ensayos, de las cuales se pueden alterar o manipular diferentes elementos llamados variables. El experimento creado es un ensayo o serie de ensayos las cuales provocan cambios voluntarios en las variables de ingreso a

un proceso o un sistema, de forma que es factible reconocer las causas de las variaciones en la respuesta (Gutiérrez, 2008).

De acuerdo al manual del ingeniero industrial, Maynard (2016), un experimento estadístico es un conjunto de distintos experimentos, cada uno efectuándose bajo contextos controlados. Es posible ver el proceso como una composición de maquinarias, metodologías, personas y recursos que convierten cierta entrada en una salida, que poseen una o varias respuestas verificables. Algunos parámetros del proceso se pueden controlar, sin embargo existen diversos que no lo son. Entre los fines del experimento se incluyen:

- 1.- Determinar cuáles parámetros tienen más predominio en la respuesta “y”.
- 2.- Determinar valor de la “x” que influyen en “y”, de manera que “y” posea casi siempre un número aproximado al número que se desea.
- 3.- Determinar el mejor valor de las “x” que influyen en “y”, de tal forma que el rango de variación de “y” sea pequeña.
- 4.- Determinar el mejor valor de las “x” que influyen en “y”, de forma que disminuya los efectos de las variables imposibles de controlar.

FIGURA 2. 2. ESQUEMA DE UN DISEÑO DE EXPERIMENTO.



Fuente: Montgomery (2004)

### **2.2.3.1 Etapas del diseño de los experimentos**

Es más que un conglomerado de situaciones que se someten a una prueba; es más bien, una serie de pasos que conviene ejecutarse para el cumplimiento con éxito de los objetivos que se plantean. Estas etapas se señalan a continuación, siendo la planeación de la actividad la más significativa y que se brindan mayor inversión de tiempo.

#### ***Planeación.***

1.- Ubicar una dificultad de calidad que origina pérdidas significativas a la organización, que es de provecho para una persona investigadora. Precisar y calcular el inicio es la primera etapa ante cualquier esfuerzo por mejorar; por esta razón, en este momento se utiliza el análisis de Pareto o estudios de la capacidad del proceso. Es esencial además, de poseer una comprensión primaria sobre el proceso donde se localiza la problemática.

2.- Determinar qué componentes deben investigarse, en concordancia con la influencia que existe sobre la respuesta.

3.- Escoger el(los) parámetro(s) de respuesta que son medibles en cada sitio del D.E. y confirmar que se mide de forma confiable. La escogencia de estos es fundamental, puesto que son el propósito del ensayo experimental, y son las que se buscan mejorar. Por esto se deberá escoger las que mejor expresen la problemática, ya sea en criterios de calidad o productividad.

Es frecuente que posea más de una respuesta. Asimismo, se tiene la confianza que las medidas que se alcancen sobre esas variables son confiables. Expresado de otra manera, garantizar que las herramientas y/o metodología de medición sean capaces de reproducir la medición, los mismos tienen la precisión (error) y exactitud (calibración) que necesitan.

4.- Escoger el D.E. adecuando los factores que se tienen y al propósito de la prueba experimental. Esto también implica establecer cuántas reproducciones se realizarán por cada tratamiento, teniendo en consideración el tiempo, costo y la precisión que se desea. Con la siguiente fórmula se calcula la estimación de número de piezas a correr.

$$M = (2.5)^2 * \frac{(1 - p_0)}{p_0}$$

Donde  $p_0$  es la proporción utilizada como base.

5.- Proyectar y sistematizar el trabajo experimental. Basado en el diseño escogido, organizar y planear con detalle el procedimiento experimental.

6.- Realizar el experimento. Ser fiel al método conocido en la etapa anterior.

*Análisis.*

Se determina el modelo de análisis de varianza ANOVA o la práctica estadística que más represente la conducta de los datos.



### *Interpretación.*

En la interpretación, es prudente ir más allá del análisis estadístico formal, y debido a analizar cada detalle de lo sucedido con el experimento, a partir de contrastar las suposiciones preliminares con las derivaciones del experimento, observando los nuevos aprendizajes que sobre el proceso se alcanzaron, se hace la verificación de los supuestos y escoge al ganador.

### *Conclusiones.*

Para finalizar el proyecto se sugiere seleccionar una determinación sobre las medidas a efectuar para generalizar el resultado de la investigación y para garantizar que lo mejorado se conserve.

#### **2.2.3.2. Aplicaciones del D.E.**

La metodología del D.E. posee una extensa aplicabilidad en diversas disciplinas, efectivamente, es de reflexionar que la experimentación es parte del método científico y una de las maneras en que asimilamos acerca del modo como trabajan los sistemas o procesos. Comúnmente estas nociones se dan por medio de varias acciones, en los cuales hacemos suposiciones acerca de un proceso, se ejecutan experimentos para crear datos partiendo del proceso, por lo que se usa esa información experimental para formar renovadas suposiciones, que conlleva a ejecutar más experimentos, y así repetidamente.

El D.E. es de importancia crítica en la esfera de la ciencia y la industria para optimizar el rendimiento de un proceso de manufactura. Así mismo se utiliza ampliamente en el desarrollo de nuevos métodos. Aplicando la herramienta del D.E en una etapa inicial del desarrollo de un proceso genere como respuesta:

- 1.- Mejorar el rendimiento de procesos.
- 2.- Mínimo de variabilidad y más apego a los requerimientos nominales u objetivo.
- 3.- Menos tiempo de desarrollo.
- 4.- Bajos costos generales.

Las etapas del D.E tiene una función importante en las actividades de bosquejo técnico (o de ingeniería), en las que florecen nuevos productos y se optimizan otros ya existen. Algunas formas donde se puede aplicar el D.E., en el bosquejo técnico son:

- 1.- Valoración y comparación de distribuciones de diseño básicas.
- 2.- Estimación de materiales alternativos.
- 3.- Elección de parámetros de diseño de manera que el producto este optimo en una extensa diversidad de circunstancias de campo, en otras palabras, que el bien sea estable.

Montgomery (2004), indica que la aplicación del diseño experimental en las áreas mencionadas con anterioridad y otras áreas, da como resultado bienes con más confianza y mejor maniobra en el campo, menor costo, menos tiempo de diseño y tratamiento del producto.

### **2.2.3.3. Uso de los métodos estadísticos en la experimentación.**

Un elevado número de investigaciones en el área de la ciencia e industria es experimental. Los métodos estadísticos aumentan la eficacia de los experimentos y, casi siempre, refuerzan las conclusiones conseguidas, es importante subrayar que el investigador considerar los siguientes planteamientos:

1.- Utilizar el saber no matemático del problema. Habitualmente los investigadores están al tanto de la profundidad su área de especialidad, en algunas áreas se puede utilizar una cantidad grande de fundamentos teóricos para expresar las vinculaciones que hay entre los factores y las respuestas. Este saber no matemático, no tiene valor al adoptar los factores y sus niveles, al disponer del número de copias que se pretenden realizar, al examinar los resultados y en las demás fases de un proceso.

2.- Conservar el diseño y el análisis simples tanto como se pueda. No debe exceder la utilización de técnicas estadísticas complicadas y muy minuciosas, comúnmente lo más acorde es la metodología de diseño y análisis sencilla. De realizarse el diseño minucioso y adecuadamente, el análisis se realizará, relativamente directo.

3.- Explorar la discrepancia entre la significación práctica y la estadística. Sin seguridad de que una de esta sea suficientemente amplia, visto desde lo práctico, solo por el hecho de que dos condiciones experimentales originan respuestas medias, estadísticamente distinta.

4.- Comúnmente los experimentos son repetidos. Tomando en cuenta que la mayor parte de los casos es poco conveniente diseñar experimentos muy amplios en las fases iniciales de un proyecto. Para que un diseño tenga éxito es necesario que se identifiquen los factores relevantes, aquellos intervalos de los componentes que serán investigados, la cantidad adecuada de niveles para cada componente y las unidades de medida apropiadas a cada componente y al resultado. Generalmente, al inicio de un experimento no se puede responder acertadamente a estas preguntas sin embargo, es posible saber las respuestas como vaya avanzando la experimentación. Todo ello beneficia al empleo del enfoque iterativo o secuencial considerado con anterioridad. Existen situaciones en que los experimentos de gran extensión son del todo apropiados, y por norma general, la mayor parte de los experimentos son iterativos.

#### **2.2.3.4. Clasificación de los diseños de experimentos**

Se han inventado y propuesto distintas categorías de D.E para poder estudiar la diversidad de dificultades o circunstancias que acontecen en la práctica. Para resolver el problema planteado, es necesario escoger adecuadamente el D.E y por consiguiente, reconocer cómo es que el mismo se clasifica en los diseños, conforme a su objetivo y a su alcance dentro del objetivo en cuestión. Existen cinco aspectos con más influencia en la elección de un D.E, puesto que cuando se modifican nos llevan generalmente a cambiar su diseño son:

- 1.- La finalidad del ensayo.
- 2.- Los de factores a vigilar.
- 3.- La cantidad de niveles que se evalúa en cada factor.

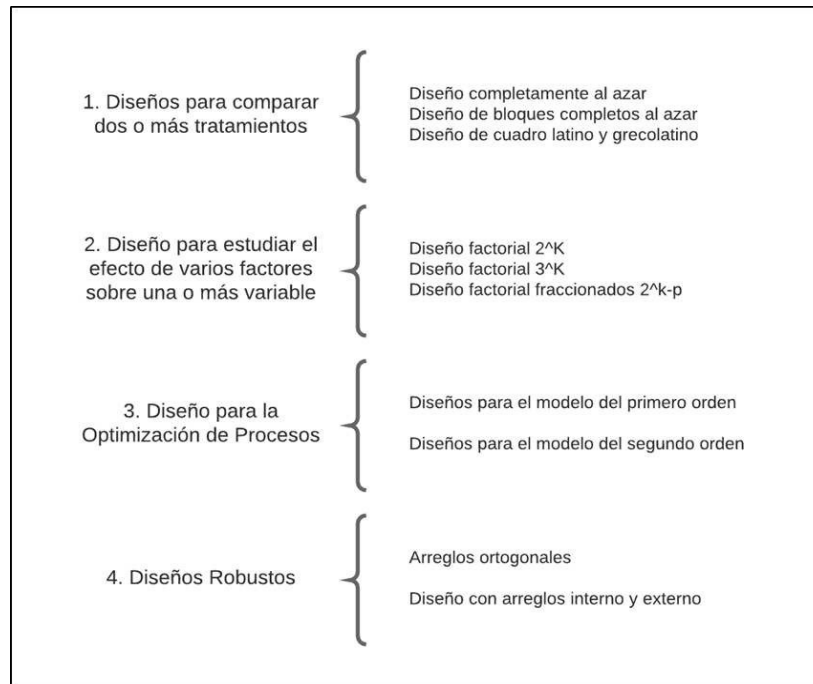
- 4.- Los efectos que son de provecho para indagar.
- 5.- El costo del ensayo, tiempo y precisión que se desea.

Estos puntos son dependientes entre sí, sin embargo es pertinente señalarlos por separado puesto que al modificar alguna de estas, se modifica el D.E que es usado. El objetivo del experimento se ha empleado como una razón habitual de sistematización de los D.E, y los otros 4 aspectos se utilizan para sub-clasificarlos. Así mismo, los D.E se clasifican conforme a su objetivo en:

- 1.- Diseños para diferenciar dos o más procedimientos.
- 2.- Diseños para evaluar las consecuencias de diversos factores sobre la(s) respuesta(s).
- 3.- Diseños para establecer el punto recomendable de operación del proceso.
- 4.- Diseños para la optimización de una mezcla.

En la presente investigación, es necesario conocer los efectos que implica cada uno de los factores sobre la variable de respuesta, para el caso que nos ocupa es el hundimiento de la pieza, es por ello que, se analizará el diseño para estudiar el efecto de varios factores.

FIGURA 2. 3. CLASIFICACIÓN DE LOS DISEÑOS EXPERIMENTALES.



Fuente: Montgomery (2004)

#### 2.2.3.5. Diseños para estudiar los efectos de diferentes factores

El objetivo de un diseño factorial es estudiar el efecto de distintos factores hacia una variedad de respuestas, esto ocurre si el interés es el mismo en todos los factores. Los factores suelen ser de tipo cualitativo (maquinas, tipos de material, operador la presencia o ausencia de una operación previa, entre otros) o de tipo cuantitativo (temperatura, humedad, velocidad presión, entre otros). Si se desea estudiar la forma en que influyen a cada factor en la variable de respuesta, es preciso escoger por lo menos 2 niveles de prueba para cada uno. Con el diseño factorial completa se escogen de forma aleatoria las opciones de combinaciones que se forman con los niveles de los factores que se quieren investigar.

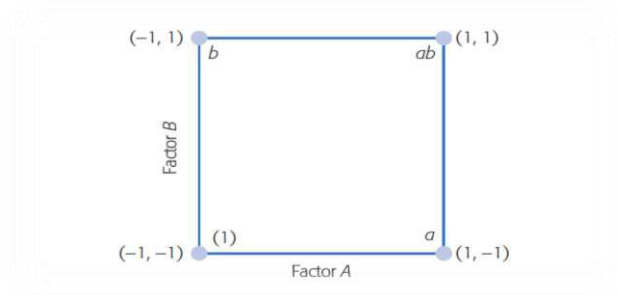
### 2.2.3.6. Diseño Factorial $2^2$ (D.F. $2^2$ )

Al D.F.  $2^2$  lo acompaña el análisis del efecto de 2 factores en 2 niveles cada uno. Las réplicas del diseño se basan en  $2 \times 2 = 4$  composiciones u operaciones que se indican de diferentes formas. Algunas de estas anotaciones se emplean en contextos particulares; a modo de ejemplo, la anotación +1, -1. Gutiérrez (2008) expresa “es útil a la hora de hacer cálculos para ajustar por mínimos cuadrados un modelo de regresión a los datos” (p.168). El mismo autor comenta “la anotación de signos +, - se hace práctica para escribir las matrices de diseño; esta anotación, combinada con la de Yates permite representar y calcular fácilmente los efectos de interés” (p.168).

### 2.2.3.7. Representación geométrica

El D.F.  $2^2$  se muestra de forma geométrica por los vértices del cuadrado de la figura 6. Para Gutiérrez (2008) “cada vértice representa un punto de diseño o tratamiento. El área limitada por este cuadrado se conoce como región experimental y, en principio, las conclusiones que se obtengan del experimento sólo tienen validez sobre esta región” (p.169).

FIGURA 2. 4. REPRESENTACIÓN DEL DISEÑO FACTORIAL  $2^2$  (D.F.  $2^2$ )



Fuente: Gutiérrez (2008)

### 2.2.3.8. Cálculo de los efectos

Acá se presentan tres efectos que interesan: los 2 efectos primeros (A y B) y el efecto de interacción (AB). Gutiérrez (2008) afirma “en el uso de la notación de Yates podemos ver que si cada tratamiento se corre  $n$  veces, entonces la media de  $Y$  en el nivel alto de  $A$  es  $(a + ab) / 2n$  y en el nivel bajo es  $(b + (1)) / 2n$ ” (p.169). En consecuencia, el efecto  $A$  se calcula como:

$$\text{Efecto } A = \frac{1}{2n} [a + ab - b - (1)] = \frac{[a + ab]}{2n} - \frac{[b + (1)]}{2n}$$

Mientras la parte  $B$  se calcula con la ecuación que se presenta a continuación:

$$\text{Efecto } B = \frac{1}{2n} [b + ab - a - (1)] = \frac{[b + ab]}{2n} - \frac{[a + (1)]}{2n}$$

De estas ecuaciones se observa que en el segmento derecho de las mismas se hace notable que los efectos son diferencias de medias. Para Gutiérrez (2008) expresa que “en sentido geométrico, el efecto  $A$  equivale a promediar los datos del lado derecho del cuadrado de la figura 2.4” (p.169). El mismo autor comenta “restarles el promedio de los datos del lado izquierdo; mientras que para el efecto  $B$  se promedian los datos del lado de arriba y se le resta la media de los datos del lado de abajo” (p.169).

El efecto de interrelación entre los factores  $A$  y  $B$  viene sujeto por la discrepancia entre la consecuencia de  $A$  en el nivel alto y bajo de  $B$ , el cual se calcula,

$$\text{Efecto } AB = \frac{1}{2n} [ab + (1) - a - b] = \frac{[ab - b]}{2n} - \frac{[a - (1)]}{2n}$$



De igual manera es una discrepancia de medias. Gutiérrez (2008) “En términos geométricos, la interacción es la diferencia entre las medias de las diagonales del cuadrado de la figura 2.4” (p.170).

#### 2.2.3.9. Análisis de varianza

Para corroborar que los efectos contribuyen a revelar el comportamiento de la respuesta, es debido realizar la prueba estadística del análisis de varianza. Es indiscutible que teniendo un software especializado se facilita enormemente los cálculos. A continuación se indican algunas demostraciones:

La combinación lineal de la forma  $C = \sum_{i=1}^{2^k} c_i Y_i$ , con  $\sum c_i = 0$ , se denomina contraste.

Gutiérrez (2008) comenta “es sabido que la suma de cuadrados para cualquier contraste C está dada por la cual sólo tiene un grado de libertad” (p.170). El mencionado autor expresa “note que en el contexto de los diseños factoriales, las sumas corren sobre los  $2^k$  tratamientos del diseño factorial  $2^k$ , y cada término  $Y_i$  representa un término de la notación de Yates” (p.170).

$$SC_C = \frac{\left( \sum_{i=1}^{2^k} c_i Y_i \right)^2}{n \sum_{i=1}^{2^k} c_i^2}$$

Para ejemplificar, los contrastes correspondientes a los 3 efectos A, B y AB en el diseño factorial veintidós están representados por:

$$\text{Contraste } A = [a + ab - b - (1)],$$

$$\text{Contraste } B = [b + ab - a - (1)]$$

$$\text{Contraste } AB = [ab + (1) - a - b]$$

Las cantidades expuestas con anterioridad, son las que definen los efectos. Según Gutiérrez (2008) “son contrastes por el hecho de que son combinaciones lineales donde los coeficientes suman cero ( $1 + 1 - 1 - 1 = 0$ )” (p.170). Una vez conseguido el contraste, el efecto siguiente se consigue dividiéndolo entre la constante que lo transforme en una diferencia de medias; este número es la mitad de las observaciones realizadas en el experimento. El autor ejemplifica lo siguiente: “en el factorial  $2^k$  con  $n$  réplicas los contrastes se dividen por  $n2(k - 1)$  para estimar los efectos; en particular para el diseño  $2^2$  con  $n$  réplicas se divide por  $n2(2 - 1) = 2n$ ” (p.170).

#### *Métodos para calcular contrastes.*

Una forma práctica de conseguir que los contrastes de cualquier efecto, sean el principal o de interacción en el diseño factorial  $2^k$  es a través del auxilio de una cuadro de signos. Para Gutiérrez (2008) “el cuadro de signos se construye a partir de la matriz de diseño, multiplicando las columnas que intervienen en la interacción que se quiera calcular” (p.171). Asimismo, comenta “por ejemplo, si se quiere obtener el contraste de la interacción doble AB, se multiplica la columna de signos A por la columna B, y el resultado son los signos de contraste AB. Esto se muestra en el siguiente cuadro de signos para el diseño factorial  $2^2$ ” (p.171).

CUADRO 2. 2. SIGNOS PARA EL DISEÑO  $2^2$

| A | B | AB | YATES |
|---|---|----|-------|
| - | - | +  | (1)   |
| + | - | -  | a     |
| - | + | -  | b     |
| + | + | +  | Ab    |

Fuente: Gutiérrez (2008)

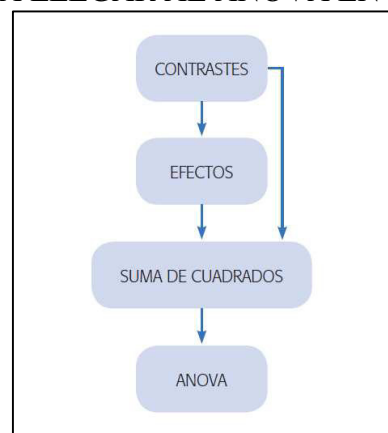
En el cuadro anterior, los efectos principales conciernen a las columnas que concuerdan con la matriz del diseño. Una vez que se obtienen las columnas de signos de los efectos de utilidad, la diferencia de cada uno resulta de multiplicar su columna de signos por la columna de los datos indicados en la columna de Yates. Gutiérrez (2008) expresa “recordemos que la notación de Yates representa los totales o sumas de las observaciones en cada tratamiento” (p.171). El autor manifiesta “por ejemplo, al multiplicar las columnas A y B por la notación de Yates, se obtiene el contraste de AB que ya conocemos: Contraste AB = [(1) + ab – a – b]” (p.171).

El cálculo de contrastes se dificulta a medida que el número de factores asciende, dado que aumenta velozmente el número de términos que contiene el contraste. Gutiérrez (2008) plantea el siguiente ejemplo, “en un factorial  $2^5$  los contrastes están formados por 32 términos. De manera que a medida que se tengan más factores será necesario utilizar un software estadístico para hacer los cálculos” (p.171).

*Pasos para llegar al ANOVA.*

Para calcular el ANOVA hay que sumar los cuadrados de cada uno de los efectos. La figura 2.5 lo representa, las sumas de cuadrados se puede obtener de los efectos o directamente de las discrepancias.

FIGURA 2. 5. PASOS PARA LLEGAR AL ANOVA EN UN DISEÑO  $2^K$ .



Fuente: Gutiérrez (2008)

Cuando se adquieren los contrastes, se estiman los efectos, dividiendo los mismos por la constante que los convierte en diferencias de medias. Particularmente, el D.F  $2^2$  que está constante es  $2n$ . Indagando cuál de los 3 efectos están activos o son relevantes se procede a comprobar las hipótesis dadas por:

$$H_0 : \text{Efecto } A = 0$$

$$H_0 : \text{Efecto } B = 0$$

$$H_0 : \text{Efecto } AB = 0$$

Para Gutiérrez (2008) “cada una contra la alternativa de que el efecto en cuestión es diferente de cero. Estas hipótesis se prueban con el análisis de varianza” (p.172).

Así mismo el mencionado autor expresa “para obtener las sumas de cuadrados para cada efecto se aplica el resultado sobre contrastes como se mostró en la ecuación anterior y resultan las expresiones dadas por:” (p.172)

$$SC_A = \frac{[a + ab - b - (1)]^2}{n2^2}$$

$$SC_B = \frac{[b + ab - a - (1)]^2}{n2^2}$$

$$SC_{AB} = \frac{[ab + (1) - a - b]^2}{n2^2}$$

Donde cada una de ellas tiene sólo un grado de libertad, debido a que cada factor tiene únicamente dos niveles. La suma de cuadrados totales se calcula con la expresión:

$$SC_T = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{l=1}^n Y_{ijl}^2 - \frac{Y_{...}^2}{n2^2}$$

Tiene  $n2^{2-1}$  grados de libertad, es decir, el total de observaciones en el ensayo menos uno. La suma de cuadrados del error se calcula por diferencia:

$$SC_E = SC_T - SC_A - SC_B - SC_{AB}$$

Teniendo  $(n2^{2-1}) - 3 = 4(n - 1)$  grados de libertad. El cuadro de ANOVA del diseño factorial  $2^2$  con n repeticiones se presenta a continuación:

CUADRO 2. 3. ANOVA PARA EL DISEÑO FACTORIAL  $2^2$

| FV    | SC        | GL       | CM        | $F_0$            | Valor-p      |
|-------|-----------|----------|-----------|------------------|--------------|
| A     | $SC_A$    | 1        | $CM_A$    | $CM_A / CM_E$    | $P(F > F_0)$ |
| B     | $SC_B$    | 1        | $CM_B$    | $CM_B / CM_E$    | $P(F > F_0)$ |
| AB    | $SC_{AB}$ | 1        | $CM_{AB}$ | $CM_{AB} / CM_E$ | $P(F > F_0)$ |
| Error | $SC_E$    | $4(N-1)$ | $CM_E$    |                  |              |
| Total | $SC_T$    | $N2^2-1$ |           |                  |              |

Fuente: Gutiérrez (2008)

Ahora bien, si el valor-p es más bajo que el nivel de significancia preestablecido  $\alpha$ , se deduce que el efecto que pertenece es estadísticamente diferente de cero, es decir, tal efecto es dinámico o afecta significativa sobre la respuesta. Aunado a ello, mientras más bajo sea el valor-p de un efecto, este será de mayor importancia.

Para la determinación  $CM_E$ , en el cuadro de ANOVA se puede observar que es necesario tener un mínimo de 2 repeticiones de la prueba: con solo una repetición no se tendrían grados de libertad para calcular el error, por lo que no se podría calcular su cuadrado medio y, por lo que no existiría ANOVA. Por tanto es recomendable realizar una factorial  $2^2$  con al menos tres repeticiones para poder considerar un  $CM_E$  acertado.

*Interpretación de los efectos significativos.*

Con el análisis de varianza del cuadro 2.2 se sabe cuáles de las tres influencias A, B o AB intervienen sobre la variable de respuesta. Por lo que es necesario graficar las que fueron

dinámicas y aquellas de las cuales se tenía algún tipo de presunción muy concreta; a continuación, Gutiérrez (2008) comenta que “se realizará una interpretación a detalle y ésta se convierte en conocimiento sobre el proceso o fenómeno investigado” (p.173). Para establecer las condiciones más idóneas de operación del proceso se utilizan sólo los efectos que resultan estar activos en el ANOVA.

### 2.3. Marco conceptual

- **Aleatorización:** mecanismo de designación de los tratamientos a los parámetros del ensayo, evitando sea influenciado por la voluntad del investigador. El proceso se cumple usando el cuadro de números aleatorios, tarjetas numeradas, o una calculadora, o un paquete de software que genere número de manera aleatoria.
- **Bloque:** Es un conglomerado de unidades experimentales de mediana homogeneidad, cuyo objetivo es erradicar la variabilidad del material experimental.
- **Calidad:** medida en el que un conglomerado de propiedades cumpla con los requisitos exigidos.
- **Defecto:** Incumplimiento de un requisito asociado a un uso previsto o específico.
- **Efectividad:** Cumplimiento ideal de los propósitos u objetivos trazados.
- **Eficacia:** Capacidad que se tiene de alcanzar los objetivos y metas pautadas con los medios disponibles en un tiempo preestablecido.
- **Eficiencia:** Uso racional de los medios que se tienen para lograr un propósito preestablecido; es el requisito para evitar o cancelar dispendios o errores. Facultad para obtener los objetivos y metas preestablecidas con el menor de recursos útiles y tiempo, alcanzando su óptimo.

- **Factores controlables:** Suelen ser las variables de proceso o de entrada que se establecen en un valor predeterminado de operación. Estos son los que habitualmente se vigilan mientras la operación normal está en proceso, y son distintos porque existe la manera o forma para manipular su nivel de operación. Es por esto que se puede ensayar con ellos, a los factores controlables se llaman variables de entrada, condiciones de proceso, variables de diseño, parámetros del proceso, o sencillamente factores.
- **Factores estudiados:** Suelen ser aquellos variables que se utilizan para investigar en el experimento, por su influencia en las variables de respuesta. Es posible que los factores en estudio se puedan controlar o no, siendo estos últimos de interés a controlarlos durante el experimento. Es necesario, que para que un factor sea estudiado se haya examinado en al menos dos niveles durante el ensayo.
- **Factores no controlables o de ruido:** Son variables que no son posible controlar durante la operación normal del proceso.
- **Hipótesis:** Antecedentes de una proposición condicional o hipotética. Enunciado que solo se puede probar por sus consecuencias.
- **Objetivo:** Expresión cualitativa de un propósito en un periodo determinado; el objetivo debe responder a la pregunta “que” y “para que”.
- **Proceso:** Un conjunto de acciones integradas y dirigidas hacia un fin. Una acción continua u operación o serie de cambios o tareas que ocurren de manera definida. La acción y el efecto de continua de avanzar, en especial del tiempo.
- **Producto:** Cosa producida natural o artificialmente, o resultado de un trabajo u operación. Resultado de un proceso.



- **Repetición:** Es la cantidad de periodos que se repite el experimento básico (se aplican los tratamientos a las unidades de forma aleatoria). En la experimentación de procesos, es habitual designar con este término a los bloques de un experimento.
- **Tratamiento:** Es una de las modalidades o niveles que se toman como un factor en estudio, por ejemplo, las variedades por comprobar en un experimento de campo.
- **Unidad Experimental:** Es la unidad básica que se utiliza para experimentar como objeto de investigación.
- **Variable Independiente:** Es el conjunto de factores que tienen efecto sobre la variable dependiente se quiere medir.
- **Variable Respuesta:** Es la medición de la respuesta de los tratamientos conocidos como variables dependientes.

**CAPÍTULO III**  
**MARCO METODOLÓGICO**

### **3.1. Tipo y diseño de la investigación**

#### **3.1.1. Tipo de investigación.**

El presente trabajo se apoyará en el tipo de investigación cuantitativa experimental, la cual es un procedimiento metodológico en el cual un grupo de individuos o conglomerado, son divididos en forma aleatoria en grupos de estudio y control, y son analizados con respecto a un factor o medida que el investigador introduce para estudiar y evaluar. Según Palella y Martins (2010) es aquel según el cual el investigador manipula una variable experimental no comprobada, bajo condiciones estrictamente controladas. Su objetivo es describir de qué modo y porque causa se produce o puede producirse un fenómeno. (pag.86)

Además esta investigación se enmarca dentro del nivel descriptivo, ya que este tipo de investigación pretende mediante un diagnóstico observar y describir la realidad del proceso de fabricación de parabrisas, a través del procesamiento de datos obtenidos directamente donde ocurre el fenómeno, no buscando establecer la relación existente entre las posibles causas que generan las fallas en el proceso de fabricación de vidrio curvado, sino más bien las acciones necesarias para su control y desempeño, con la finalidad de resolver la problemática con la aplicación del diseño de experimentos al proceso de curvado de vidrio para aumentar la productividad en la fabricación de parabrisas.

Adicionalmente, Arias (2006), aclara que, “su importancia reside en que permite al investigador, mediante la observación directa, asegurarse de las verdaderas condiciones en que se desarrolla el problema” (p.58).

### **3.1.2. Diseño de la investigación.**

Se basa en una combinación del diseño experimental apoyado con el diseño de campo y documental, al respecto Hernández y otros (2006), afirman que el diseño experimental “busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que analice” (p.103). Asimismo, la recopilación de datos se realizó directamente en el área en que se presenta el fenómeno, mediante el trabajo concreto del investigador y se revisara toda la documentación y reportes de producción, estándares de calidad, de la línea de fabricación de parabrisas, con la finalidad de establecer las causas que afectan la productividad de la misma. En relación, al diseño de campo según la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (2005), establece que:

Comprende el análisis sistemático del problema en la realidad, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia, haciendo uso de métodos característicos de cualquiera de los paradigmas o enfoques de investigación conocidos en el desarrollo. (p.7)

Y al referirse a la investigación documental, expresa Según la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (2005) la investigación Documental, es estudio de problemas con el propósito de ampliar y profundizar el conocimiento de su naturaleza, con apoyo, principalmente, en trabajos previos, información y datos divulgados por medios impresos, audiovisuales o electrónicos. (p.6)

### **3.2. Unidad experimental.**

En la unidad de análisis estará delimitada por la población y muestra objeto de estudio, estos dos términos se relacionan con el fin de generalizar los resultados obtenidos. De este modo la población está conformada por todos los elementos que pueden ser estructurados y a quienes afecten los resultados, la muestra será constituida por aquellos elementos de la población que son tomados al azar o no; y que serán sometidos a estudio cuyos resultados serán visualizados en la población. Según Arias (2006), plantea lo

siguiente: La población, o en términos más preciso la población objetivo, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio (p.81)

De este modo la población considerada para este estudio corresponde a la línea de fabricación de parabrisas de vidrio curvado y la meta de producción estimada del mismo, donde se destaca que el estudio se basará en una muestra no probabilística de tipo intencional ya que el investigador establece los criterios y las unidades de análisis a investigar, así como lo explica Palella y Martins (2007), “Reseña que este tipo de muestreo implica que el investigador obtiene información de unidades de la población escogida de acuerdo a criterios previamente establecidos”. (p. 71) donde se refiere a que la unidad de análisis experimental es el parabrisas curvado de vidrio.

### **3.3. Técnica de recolección de datos.**

Para el desarrollo de esta investigación se efectuarán ciertas actividades que permitirán, detectar los problemas que afectan la productividad de la línea de producción de parabrisas curvado, así como los estándares de calidad del mismo y de esta manera lograr recabar la información requerida.

Ahora bien, en la investigación se utilizará la observación directa que según Tamayo y Tamayo (2011) la define como “...aquella en la cual el investigador puede observar y recoger datos mediante su propia observación” y se realizará en cada parte que conforma el proceso de producción de parabrisas curvado, con esta herramienta se logrará una amplia información sobre el panorama general de la línea

En cuanto a la revisión documental, se recabarán los reportes de producción, los reportes de fallas en los estándares de calidad, toda esta información se llevara a cabo con la finalidad de obtener información sobre el no cumplimiento de la producción programada y las fallas más relevantes en las etapa del proceso de fabricación de curvado de parabrisas; Según Rodríguez (2013), “es una técnica que se emplea en los momentos de la investigación que requiere recabar datos a través de fuentes documentales”. (p.112).

Así mismo, se recolectó la información aplicando técnicas de ingeniería, con el fin de conocer de una manera más precisa que factores inciden en las fallas en las metas de producción y en los estándares de calidad en la fabricación de parabrisas de vidrio curvado, De igual manera, se utilizó la Tormenta de Ideas, la cual es una técnica de recolección de datos para la generación de ideas nuevas y útiles; que mediante reglas sencillas, aumenta las probabilidades de innovación y originalidad. Por su parte Arias (2006) lo conceptualiza en esta forma “es una herramienta de trabajo grupal que facilita el surgimiento de nuevas ideas sobre un tema o problema determinado. La lluvia de ideas es técnica grupo para generar ideas originales en un ámbito relajado” (p. 23). Se utilizó con el propósito de generar ideas en cuanto a las posibles causas.

Se aplicó el diagrama de Pareto el con el fin de observar y determinar las causas vitales que inciden en las fallas en el proceso de fabricación. Según Zocca (2005) indica, “que una gráfica donde se organizar clasificaciones vitales y la no vitales”. (p. 86)

**CAPÍTULO IV**

**ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS**

#### **4.1. Generalidades de la empresa.**

La empresa en estudio es líder integral en la fabricación de vidrios especiales de alta gama incluyendo líneas de laminado moderno, templado y blindado, que brindan productos que cumplen con las más altas especificaciones técnicas del mercado automotor mundial.

Con 50 años de experiencia, ha desarrollado un extenso portafolio de productos dirigidos a los mercados del Automóvil, la Construcción, la Industria Naval, el Transporte Masivo y la Industria Militar. Podemos adecuar soluciones que se ajusten a sus necesidades y que al mismo instante mantengan los niveles más altos de calidad en cada uno de sus productos y desempeño en la industria.

Nuestra figura mundial nos permite garantizar de manera rápida a los requerimientos de nuestros clientes, con tiempos de entrega y soporte técnico en su infraestructura, nuestro objetivo es conceder a nuestros clientes con las últimas tecnologías en protección y comodidad aplicadas a muchas líneas de productos en el mundo; las siguientes páginas relatan la tradición de los 50 años del Grupo, siguiendo el progreso de los expertos en vidrios especiales que surgieron para convertirse en el líder integral en vidrios especiales de alta tecnología y el fabricante más grande de vidrio curvo blindado.

La transformación continua y la innovación rápida han sido temas frecuentes durante nuestra historia, que proviene del año 1960 cuando produjimos por primera vez composiciones en vidrio laminado. La compañía ha afianzado su aceptación principalmente como un innovador en productos laminados. Como resultado de nuestra inversión en investigación y desarrollo, la Empresa comenzó a brindar a finales de la



década de los ochenta nuevos niveles de soluciones en vidrios blindados. Hoy en día, es el líder integral en la fabricación de vidrios blindados y vidrios especiales complejos para aplicaciones automotrices. Cuenta con 4 plantas de producción con más de 1000 empleados que atienden a clientes en más de 50 países.

En los últimos años, la industria automotriz ha aumentado el tamaño y la cantidad de vidrio que se utiliza en los diseños, lo que hace que los fabricantes de vidrio reconsidere la tecnología necesaria para fabricar estos acristalamientos. La empresa se encuentra a la vanguardia de estas tecnologías con nuestra nueva instalación de producción de última generación en Lima, Perú. A partir del verano de 2015, cuenta con la capacidad de fabricar vidrio aún más grande con curvaturas más complejas que las capacidades anteriores, que ya eran algunas de las más altas de la industria. La nueva línea móvil cuenta con uno de los hornos de plegado más grandes de la industria con la última automatización en robótica y equipos de procesamiento de vidrio. Esta nueva línea de producción no solo permite la producción de formas complejas, sino que también le permite a la Empresa realizarlos en volúmenes de producción OEM.

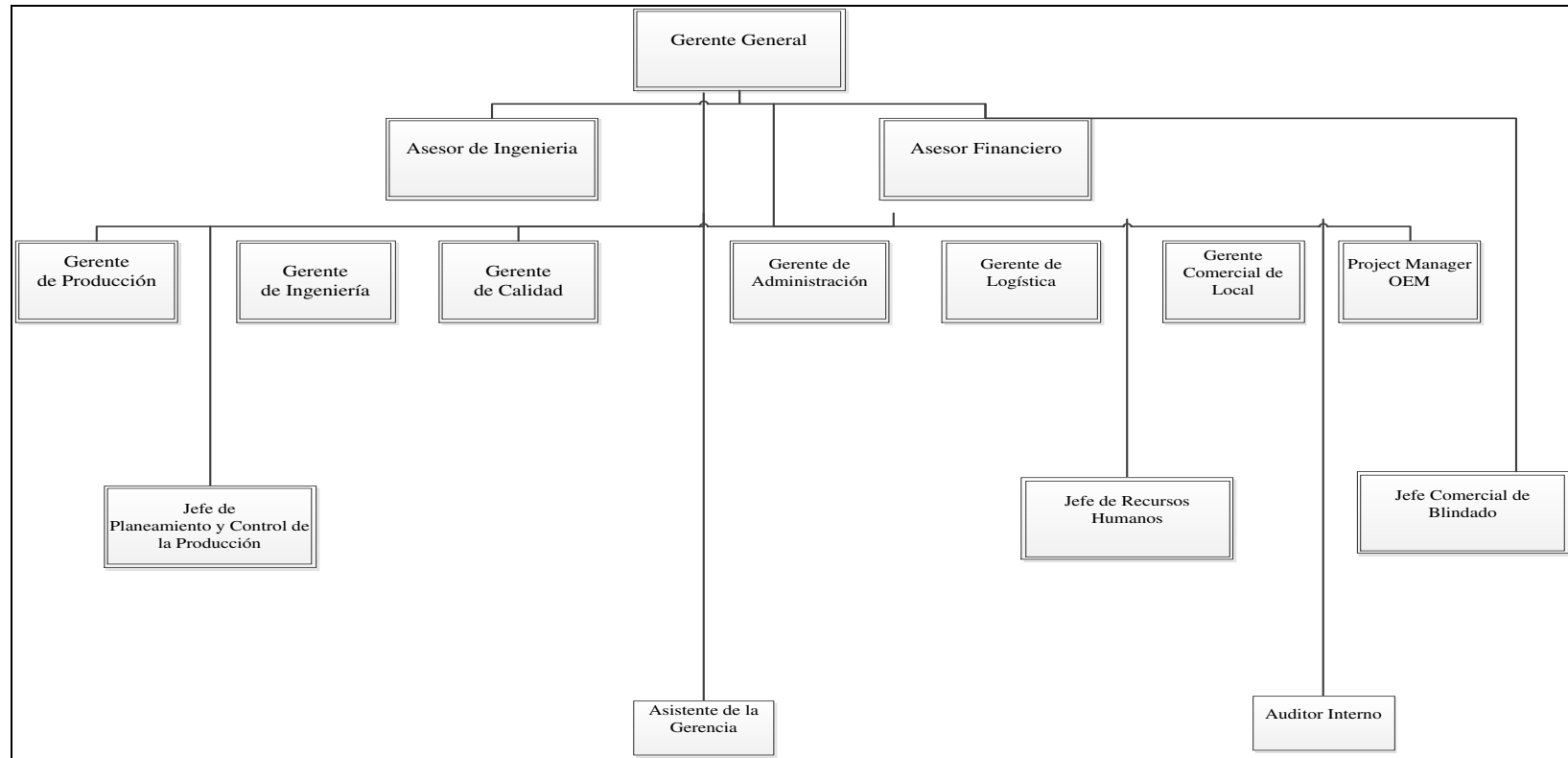
A pesar de que la empresa es muy hábil en la fabricación de productos químicamente templados y estándar, esta nueva línea se centrará en los diseños de vidrio laminado más avanzados y complejos para parabrisas, backlites y techos de vidrio fijo. Con nuestras alianzas y esfuerzos de I + D, también podremos ofrecer a nuestros OEM lo último en tecnología ligera. Esto es esencialmente significativo para los productores de automóviles eléctricos e híbridos, donde menos peso significa más kilometraje logrado con una sola carga.

#### **4.1.1. Visión, misión, valores.**

- ✓ **Visión:** consolidarnos como empresa fabricante de parabrisas, ofreciendo productos con altos estándares de calidad, que puedan satisfacer las necesidades de los consumidores locales e internacionales, siendo referencia para compañías similares en el mercado
  
- ✓ **Misión:** satisfacer a los clientes locales e internacionales de productos de seguridad de alta calidad para el parque automotor, fabricando parabrisas de alta calidad y excelente durabilidad.
  
- ✓ **Valores:** Sus valores se basan en: espíritu de servicio, resultados, trabajo en equipo, profesionalismo, responsabilidad, mística de servicio, respeto e innovación.

#### 4.1.2. Organigrama de la Empresa

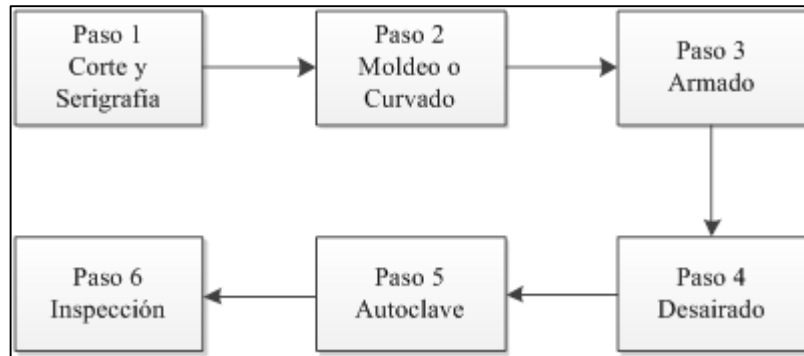
FIGURA 4. 1. ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA



Fuente: Planta eGLASS.

#### 4.1.3. Proceso de Curvado de Vidrio Actual

FIGURA 4. 2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE CURVADO.



Fuente: Elaboración propia

Paso 1 – Corte y serigrafía: para dar inicio al proceso de curvado, se hace una selección del cristal en bruto, con las cualidades ópticas necesarias para el procesamiento de dicho material (Parabrisas), según las especificaciones que se solicitan por el modelo del parabrisas a fabricar, luego se moldean cada espacio del cristal para eliminar filos y adherencias en el mismo. En realidad no corta la máquina solo marca el parabrisas, posteriormente una persona lo destaza es decir quitar todo el sobrante dejar solo la silueta que va a formar el parabrisas, para que sea enviado a serigrafía, una vez lavado y secado el vidrio, se aplican procesos serigráficos por intermedio de un armazón y una pintura negra porque los rayos ultravioletas son filtrados por el prisma y no degradan el siguiente montaje con uretano del producto.

Paso 2 – Moldeo o curvado: seguidamente se requieren dos láminas de cristal en bruto para el moldeo del parabrisas laminado, el cual se instala en vagón de carga y se transfiere a un horno, donde se somete a un proceso de moldeo con unas variables de temperatura específicas que varían gradualmente durante el proceso en unos rangos entre 500°C y 623 °C, adquiriendo así la forma deseada del parabrisas, para los parabrisas pequeños los rangos de curvado de 500°C a 550°C, en parabrisas grandes se curvan de 540°C, a esta

temperatura se debe activar los sensores de resistencia a 600°C por lo general sale ya el curvado.

Pasó 3 – Armado: Una vez curvado el cristal que fue sometido a temperatura gradual en el horno se ajustan las láminas intercalándose a través de ella una lámina de, de PVB (poli vinil butiral), con el fin de eliminar cualquier polvo e impureza presente en el proceso, seguidamente se procede al ejecutar el pre-laminado por medio de un pre-cocido de vacío y temperatura.

Paso 4 – Desairado: es un proceso que retira gran parte del aire que está entre las capas de vidrio y el PVB, lo que resta de aire lo hará el autoclave, ya se mencionó anteriormente que el vidrio plano laminado no pasa por desairado, pasa por laminadora y va directamente a almacén.

Paso 5 – Autoclave: posterior al pre-laminado el producto es procesados a una temperatura que oscila entre 140°C y una presión de 12 bar, la interacción final de un laminador, es la unión de los polivinilos y los cristales, quedando 75 % de traslucidez mínima sin distorsiones ópticas y con una garantía de 100% que estamos frente a un producto de seguridad garantizado.

Paso 6 – Inspección y despacho: para finalizar el proceso de curvado del vidrio, al salir del horno se procede a realizar los ensayos de calidad de acuerdo a las normas con el fin de establecer los criterios máximos y mínimos de conformidad de cada parabrisas fabricado, de ser aprobado el producto final se procede a su correcto almacenaje y su posterior despacho a cada cliente que requería el producto.

#### **4.1.4. Principales productos y líneas de producción:**

- ✓ Vidrio laminado, vidrio de seguridad laminado y vidrio a prueba de balas
- ✓ Vidrio laminado: Auto Replacement – ARG, Varios Plus.
- ✓ Vidrio de seguridad laminado: Shield Glass, Security Line, Impenetra, 3 KL, Stopgun 12.
- ✓ Vidrios a pruebas de balas: OEM, Automotriz, Retrofit, 3 KL, Stopgun 12.

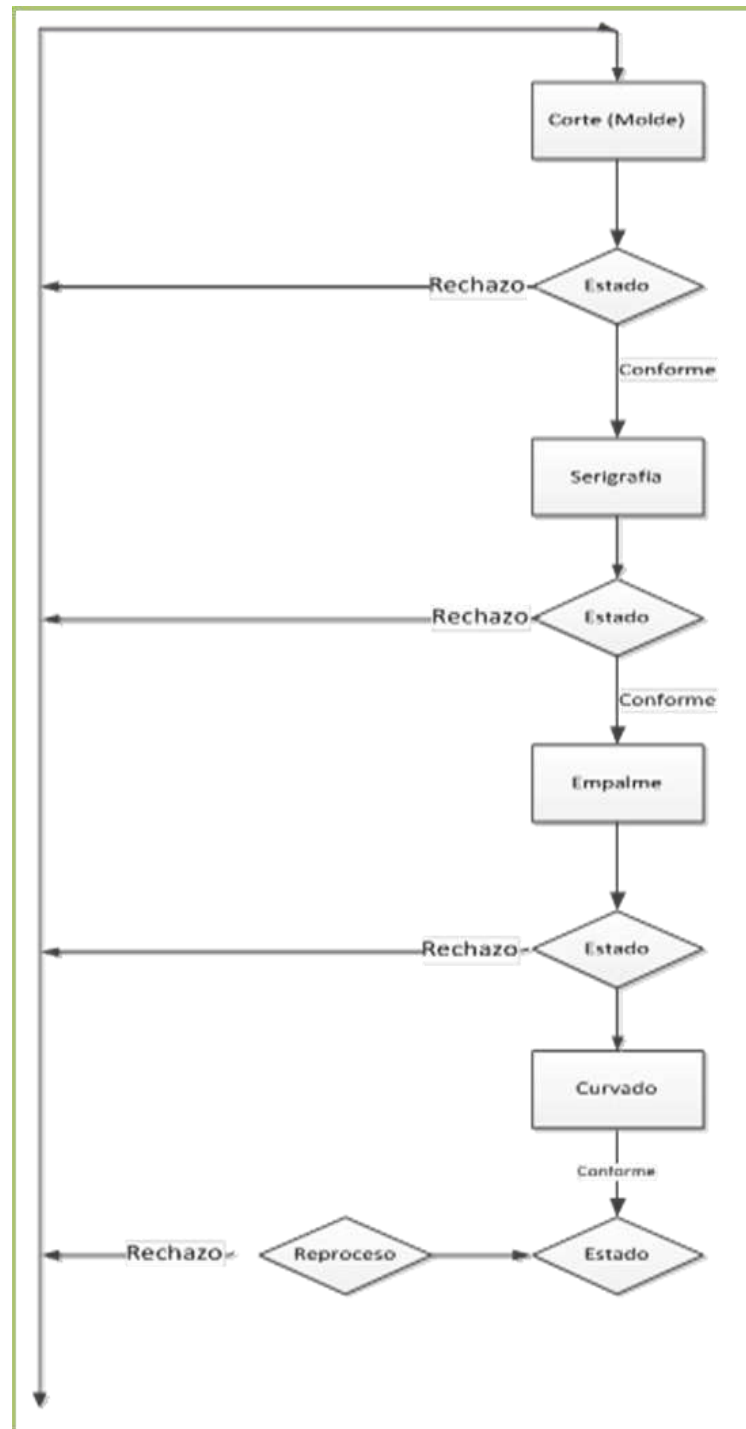
Líneas de Producción:

- ✓ Línea 1 Falcón 1
- ✓ Línea 2 Falcón 2
- ✓ Línea 3 Falcón 5

#### **4.2. Implementación en el proceso de curvado de vidrio**

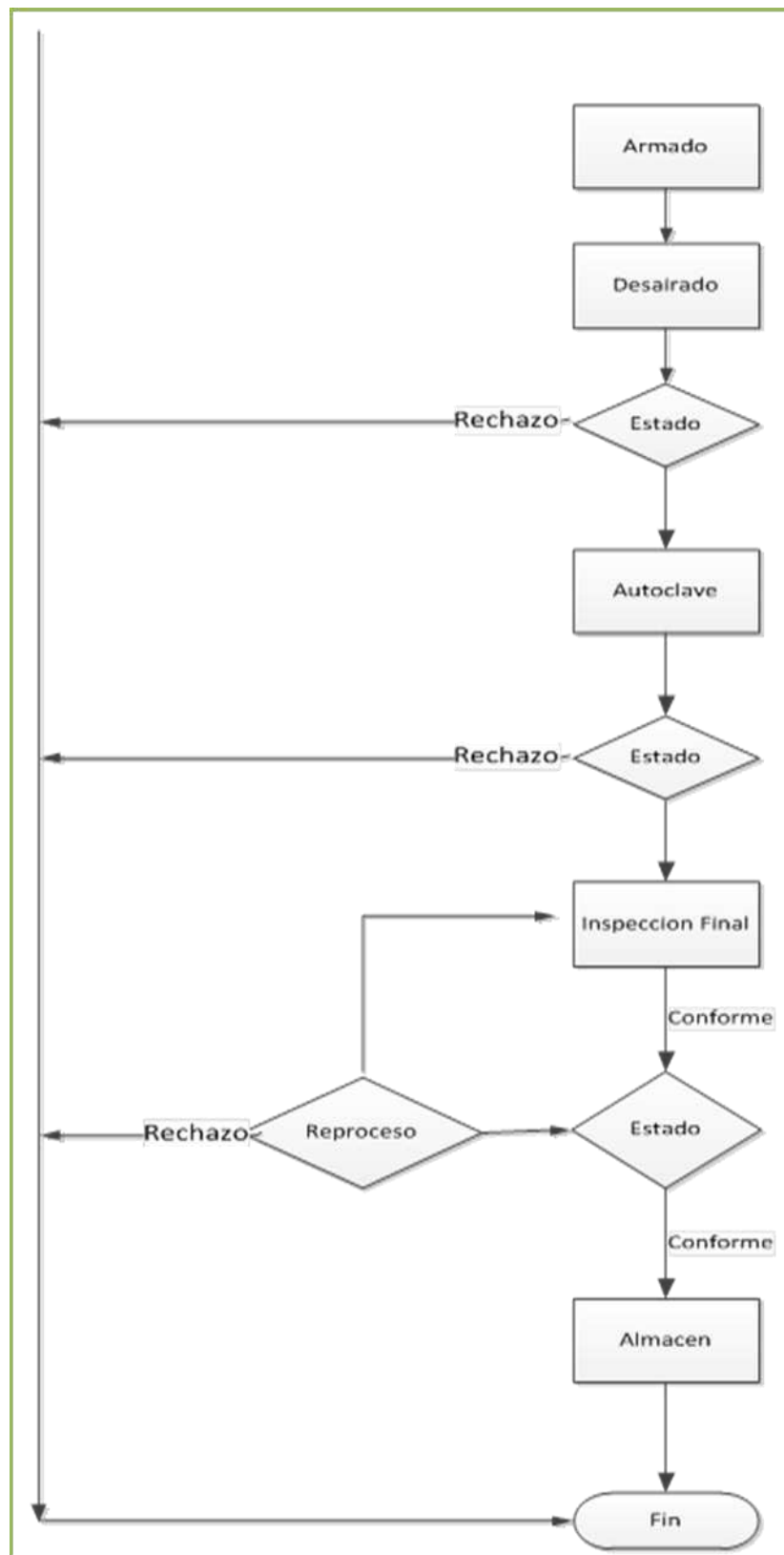
La descripción del proceso de curvado del vidrio, para la fabricación final del parabrisas, posee una serie de pasos que se llevan a cabo con la debida precaución de seguir los estándares de calidad y los lineamientos pre establecidos en el sistema de trabajo de la compañía, tomando en cuenta que dentro de cada proceso se realiza una acción a seguir en función del estado de rechazo de las variables a medir en cada sección al vidrio que será convertido en un parabrisas, a continuación se presenta la figura 4.3 el diagrama de proceso de fabricación de parabrisas.

FIGURA 4. 3. DIAGRAMA DE PROCESO DE FABRICACIÓN DE PARABRISAS  
PARTE 1



Fuente: Flujo de proceso de la Planta.

FIGURA 4. 4. DIAGRAMA DE PROCESO DE FABRICACIÓN DE PARABRISAS  
PARTE 2

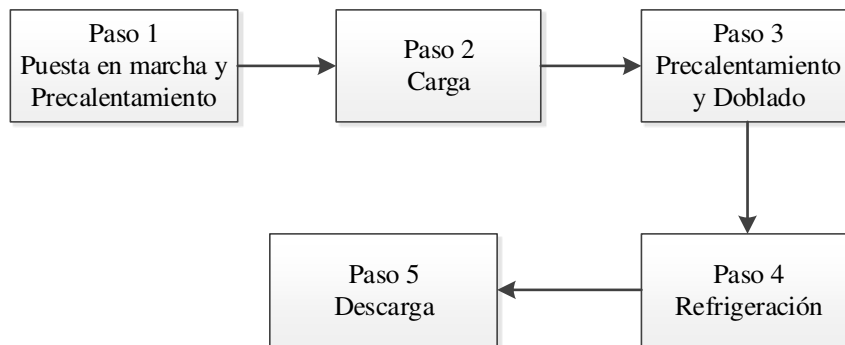


Fuente: Flujo de proceso de la Planta.



### 4.3. Descripción del ciclo de producción del horno

FIGURA 4. 5. DIAGRAMA DE CICLO DE PRODUCCIÓN DEL HORNO



Fuente: Elaboración propia.

*Paso 1: puesta en marcha y precalentamiento:*

*Pasos de puesta en marcha el horno.*

- 1) Verificar que el horno este apto para ser usado, que no exista ningún trabajo de mantenimiento sin terminar.
- 2) Verificar que los armarios eléctricos estén cerrados, o estén personas en el interior del horno o en cualquiera de las áreas peligrosas, tales como el techo del horno, zona de carga o entre las tapas laterales.
- 3) Encender los interruptores principales.
- 4) Verificar que las válvulas de agua de refrigeración de los pirómetros están abiertas y en funcionamiento.
- 5) Verificar que la válvula principal de aire comprimido se haya abierto.
- 6) Asegurase que todos los botones de parada de emergencia están en posición arriba.
- 7) Encender los siguientes interruptores de la puerta del armario eléctrico; control principal de calefacción, principales interruptores de control de la calefacción; precalentamiento, pre-doblado y sección de doblado.

- 8) Encender la unidad UPS de las computadoras ubicados en los armarios eléctricos.
- 9) Comprobar que la unidad de la computadora se inicia automáticamente después del inicio del UPS.
- 10) Del panel de control CP1, encender los siguientes interruptores: Interruptor de control del voltaje, y el Interruptor de control del voltaje de la cámara y el interruptor del monitor de la computadora.
- 11) Iniciar el programa de supervisión haga doble clic en el icono en el escritorio de Windows.
- 12) Encender el interruptor del monitor (CP1).
- 13) Verificar la posición del horno desde el programa supervisor (detalladas instrucciones del programa de supervisor en la parte 2 del manual de instrucciones). Si el horno está en la posición básica continuar a la siguiente fase, si no, conducir todos los movimientos a la posición básica mediante el uso paso a paso, o de mando manual para habilitar el modo de ejecución automática.
- 14) Seleccionar el modo de funcionamiento de la automatización del interruptor.
- 15) Activar el modo de calefacción de precalentamiento en cualquiera de las pantallas donde el botón de comando de precalentamiento se disponga: pantallas de doblado, vagón y pantalla de prueba de elemento. Ahora los calentadores se encenderán y el horno se calienta a la temperatura de los puntos de ajuste de acuerdo con los ajustes dados en pantalla temperaturas.
- 16) Mantener el modo de precalentamiento hasta que las temperaturas alcanzan los valores de consigna y luego cambiar al modo de ejecución. Modo de ejecución se activará automáticamente cuando el usuario carga el primer vidrio y presas "Carga lista con el Botón del vidrio" o manualmente desde el botón de comando "Ejecutar", en cualquier

pantalla en la que el botón de comando "Ejecutar" este disponible: pantallas del doblado, vagón y pantalla de prueba de elemento.

#### *Precalentamiento del horno.*

Para asegurar la producción constante de las primeras rondas es recomendable encender el horno después del precalentamiento para una ronda completa vacía, para calentar cada vagón, molde y horno completamente en el caso de utilizar un menor tiempo de precalentamiento el efecto de horno fresco en los resultados de doblado o flexión puede evitarse utilizando un parámetro específico.

FIGURA 4. 6. PRECALENTAMIENTO DEL HORNO.



Fuente: Elaboración propia.

#### *Paso 2. Carga*

Después que el precalentamiento está listo, puede empezar con la carga de los moldes y el vidrio cargar el molde en el carro, en la parte superior de las barras de soporte del molde

centralizar el molde y levantar y un nuevo vidrio recto en la parte superior de la misma. Centralizar el vidrio en el centro del molde. Después de esto la carga puede confirmarse que estar disponible pulsando el botón de información de carga. "Loading ready with glass".

Si la carga no ha sido aceptada, y el retardo de carga no está activo, el elevador de carga irá en forma automática. Cuando se haya completado la flexión, la luz de alarma comienza a parpadear. En aproximadamente 15 segundos desde que el elevador entra y no es posible más carga. En caso de que la carga no haya sido aceptada antes de que el control de la fuerza haya comenzado, el horno interpreta la situación de acuerdo con la ronda anterior, la operación estable y mejor repetitividad se alcanza cuando el horno está totalmente cargado con vidrio.

FIGURA 4. 7. CARGA DEL VIDRIO.



Fuente: Elaboración propia.

### *Pasó 3 Precalentamiento y doblado.*

Después de completado la carga el vagón se moverá a la pista superior, ciclo a ciclo en movimiento de una sección a otra de acuerdo a los tiempos de flexión del programa del vagón cargado en la bending 3 (flexión 3). En caso de vagón vacío en el doblado el tiempo del ciclo es de acuerdo al parámetro del vagón vacío.

En las secciones de precalentamiento de la calefacción es controlada por los puntos de ajuste de temperatura definidos en la "visualización de temperatura" del software del usuario. Cuando la sección de horno es más fría que el punto de ajuste de calefacción que está encendida, mientras que la sección del horno es más caliente que el punto de ajuste la calefacción que está apagada. Las temperaturas se miden con termocuplas. Cuando el vidrio finalmente alcanza las secciones de pre-flexión y las secciones de flexión la configuración de la temperatura y el elemento de calentamiento es controlado por pirómetros. El pirómetro mide la temperatura de la superficie de vidrio y de acuerdo con los valores del programa se establecerá las configuraciones de elementos de calefacción, posiciones de los elementos de calentamiento ajustables y finalmente liberará el vagón de la sección 3 de flexión a la pista de refrigeración cuando se alcanza la temperatura preparada.

### *Paso 4 Refrigeración.*

Inmediatamente después que termine la flexión el carro se mueve hacia abajo a los carriles inferiores y la transferencia inferior mueve el vagón en el recinto de tensión en los bordes.

En el recinto de tensión en los bordes, el vidrio se purga de aire fresco desde la caja de tensión del recinto por encima del vidrio (Técnicamente se encuentra entre los carriles inferior y superior). El propósito de esta purga de aire constante es crear los valores de tensión en el borde del vidrio. La purga de aire se crea con la ayuda de ventiladores motorizados. El tiempo de la purga de aire puede ser ajustado o la función puede apagarse por completo en recetas individuales. El tiempo de la purga de aire puede ajustarse o la función puede apagarse por completo en distintas recetas.

Los últimos bloques de carril inferior son bloques de enfriamiento forzado. En estos bloques el vidrio es enfriado con la ayuda de 4 ventiladores de refrigeración forzada individuales en cada bloque. La refrigeración forzada se controla de forma manual o automática con puntos de ajuste de temperatura de refrigeración de interfaces de usuario en pantalla.

#### *Paso 6 Descarga.*

Cuando el vagón de vidrio enfriado llega a la carga, inmediatamente después de esto (Cuando la transferencia de la parte inferior está en su lugar) la descarga se puede iniciar. Levantar el vidrio disponible, y volver a cargar el carro. Reconocer el estado de carga: la carga de vidrio disponible con o sin vidrio, la operación estable y de mejor repetitividad se alcanza cuando el horno está totalmente cargado con vidrio.

FIGURA 4. 8. DESCARGA DEL VIDRIO.



Fuente: Elaboración propia.

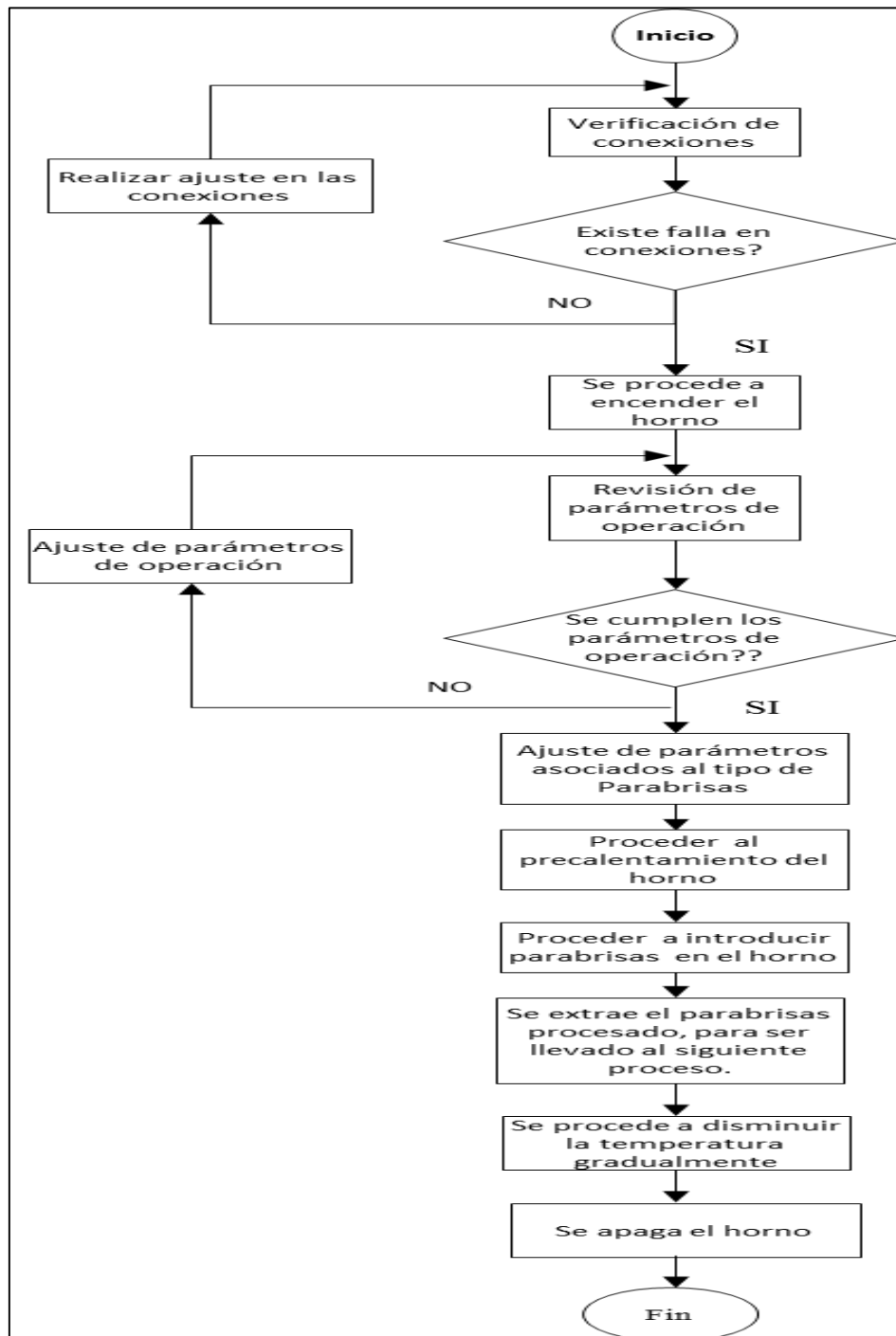
#### 4.3.1. Procedimiento Operacional del Horno

Para el inicio de operaciones del horno de curvado de parabrisas de vidrio, se procede a revisar las conexiones, verificando condiciones seguras de operación, como lo son: conexiones eléctricas seguras de presión e inexistencia de fuga en las líneas de presión.

Una vez verificada las condiciones, se procede a encender el horno y ajustar los valores de temperatura, presión y voltaje según los requerimientos del parabrisas a fabricar, este proceso de precalentamiento se llevara hasta llegar a la temperatura de inicio de proceso, el cual se apertura el horno y se introduce el parabrisas el cual será sometido a condiciones de temperatura y presión para lograr el grado de curvatura requerido, se procede a extraer el parabrisas y ser trasladado al siguiente proceso.

Posteriormente se introducirá el siguiente parabrisas para ser procesado por el mismo, una vez finalizado el proceso, se disminuye la temperatura gradualmente hasta lograr una temperatura óptima para proceder al apagado del mismo ver figura 4.9.

FIGURA 4. 9. DIAGRAMA DE PROCESO DEL HORNO DE CURVADO



Fuente: Elaboración propia.



CUADRO 4. 1. VARIABLES DE REFERENCIA DEL HORNO DE LA LÍNEA

| Variables |  | Parámetros de Referencia |             |             |
|-----------|--|--------------------------|-------------|-------------|
|           |  | F1 con Sombrero          | F2          | F5          |
| 1         | Receta   | 809 a 820                | 2600 a 2613 | 3598 a 3610 |
| 2         | Fuzzy Program Time (segundos)  | 100 ± 10                 | 90± 5       | 90± 5       |
| 3         | Fuzzy Balance  | 0                        | 0           | 0           |
| 4         | Tiempo máx. (segundos)   | 130                      | 95          | 105         |
| 5         | Tiempo min. (segundos)   | 110                      | 80          | 95          |
| 6         | Muleta lateral (segundos)  | 65 ± 5                   | NA          | NA          |
| 7         | Muleta Inferior (segundos)   | 80 ± 5                   | 60 ± 5      | NA          |
| 8         | Muleta Superior (segundos)   | NA                       | NA          | 20± 5       |
| 9         | Cooling 1 (%)  | 30 ± 30                  | 30 ± 30     | 30 ± 30     |
| 10        | Cooling 2 (%)  | 30 ± 30                  | 30 ± 30     | 30 ± 30     |
| 11        | Cooling 3 (%)  | 50 ± 20                  | 50 ± 20     | 50 ± 20     |
| 12        | Cooling 4 (%)  | 70 ± 20                  | 70 ± 20     | 70 ± 20     |
| 13        | Extractor de aire (%)  | 60 ± 40                  | 60 ± 40     | 60 ± 40     |
| 14        | Edge tensión - Delay (segundos)  | 2                        | 10          | 2           |
| 15        | Edge tensión - Time (segundos)   | 90                       | 70          | 80          |
| 16        | Transfer (segundos)  | 21                       | 21          | 21          |
| 17        | Fuzzy Graph – Programa   | 9                        | 9           | 9           |
| 18        | Temperatura de entrada PB3 (°C)  | 567 - 579                | 531 - 543   | 536 - 548   |
| 19        | Temperatura de entrada PB4 (°C)  | 579 - 585                | 540 - 546   | 578 - 588   |
| 20        | Temperatura de entrada B2 (°C)   | 596- 603                 | 560 - 570   | 592 - 604   |
| 21        | Temperatura de entrada B3 (°C)   | 600 - 608                | 590 - 598   | 590 - 598   |
| 22        | Temperatura de salida B3 (°C)  | 612 - 623                | 614 - 621   | 600 - 604   |
| 23        | Durante el cambio de modelo se tiene que realizar un test de resistencia |                          |             |             |

| <b>Variables</b> | <b>Parámetros de Referencia</b>   |           |           |
|------------------|---|-----------|-----------|
|                  | <b>F1 con Sombrero</b>  | <b>F2</b> | <b>F5</b> |
| 24               | En todo arranque de horno (después de una parada), el calentamiento deberá de ser hecho con 80 seg., de tiempo de ciclo, debido a que el horno esta frio para evitar que se ropa las cerámicas de las resistencias. |           |           |

Fuente: Procedimiento Operacional del Horno (2016)

#### 4.3.2. Procedimiento de control del horno

El procedimiento que se lleva a cabo en la organización al momento de planificar y ejecutar la fabricación de parabrisas curvado existe una serie de pasos a seguir con la finalidad de controlar las variables específicas dentro del horno, las cuales se describen a continuación:

Paso 1: dar clic al menú operacional del horno

Paso 2: dar clic al icono de vagones

Paso 3: entrar en vagones para monitorear vagón a vagón los parámetros de proceso las recetas, las temperaturas, tiempo de curvado y tiempo de transferencia.

Paso 4: dar clic menú panel de operaciones

Paso 5: dar clic, en el icono de “TEMPS/COOL

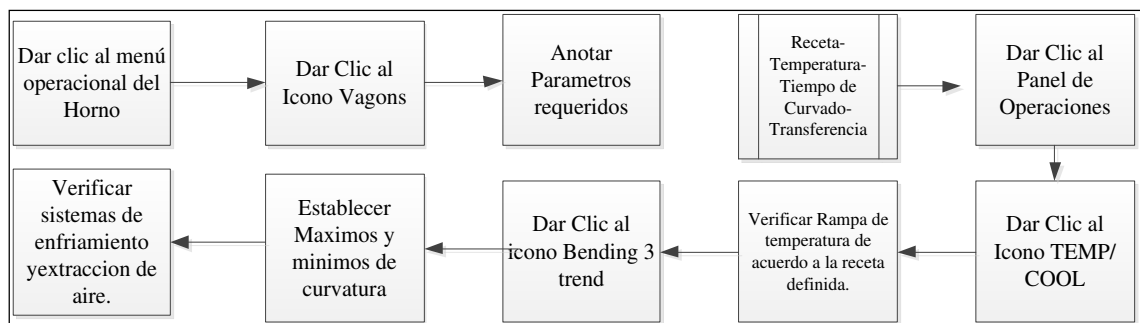
Paso 6: se debe verificar que la rampa de temperatura SET esté de acuerdo a la receta definida.

Paso 7: dar clic, en el icono de “BENDING 3 TREND”

Paso 8: establecer tiempos máximos y mínimos de curvatura

Paso 9: verificar la Sistema de enfriamiento y sistema de extracción de aire.

FIGURA 4. 10. DIAGRAMA DEL PROCEDIMIENTO OPERACIONAL DEL HORNO.



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3. Indicadores de evaluación del proceso

En esta investigación luego de aplicado de Diseño de Experimento se calculará el indicador de productividad con el fin de constatar si existe un aumento de la productividad luego de aplicado el estudio.

✓ Indicador de productividad

$$Productividad = \frac{\text{Produccion obtenida}}{\text{Insumos utilizados}}$$

#### 4.4. Implementación del DOE en el proceso de curvado de vidrio

Actualmente en las empresas utilizan el diseño experimental como técnica, que mediante las variables controlables se puede medir el efecto o la variable respuesta. (Fernández, 2008), los diseños experimentales no solo en una empresa de alto nivel, sino que también se pueden realizar en base a lo que se quiere obtener y como solucionador de problemas, esta herramienta es técnicamente un estudio ordenado de experimentos para encontrar, analizar y alcanzar una respuesta deseada.

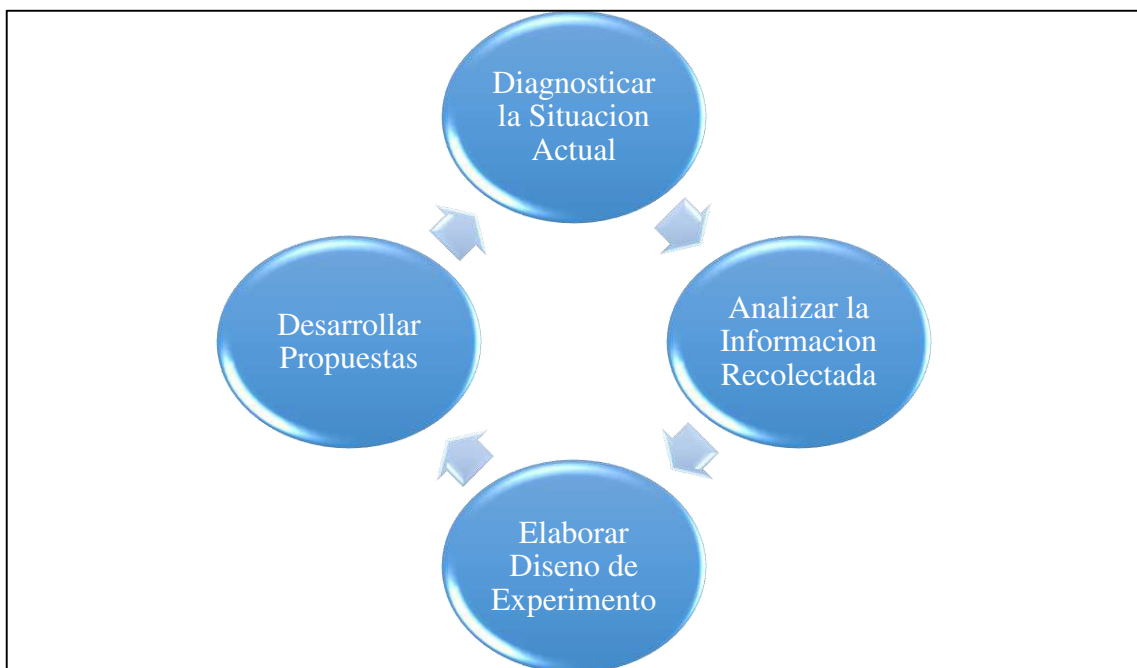
Mediante la aplicación de un diseño factorial mixto, se realiza un análisis de variables que influyen en el proceso de curvado de vidrio dentro del horno, donde se pueda determinar las mejores condiciones de operación para realizar el curvado del mismo de la mejor manera posible. Un diseño de experimentos (DOE) incluye puntos de prueba replicados para evaluar los efectos primarios de las operaciones, ajustándose siempre se a los resultados experimentales. En este caso se usa el diseño experimental para solucionar problemas en la baja productividad, trayendo consigo consecuencias en el producto final el cual ha venido presentando defectos que hacen que no cumplan con el

grado de calidad requerido para ser declarado como producto final (conforme), estas aplicaciones dentro de la organización generara beneficios como aumento de productividad, incremento de utilidades, mejoramiento de la calidad.

Para ello se realizara un diagnóstico con la finalidad de encontrar las posibles variables dentro del proceso productivo de fabricación de parabrisas, que arrojen las posibles coincidencias en las variables a estudiar según sea el caso.

#### 4.3.1. Planificación del Proyecto

FIGURA 4. 11. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO.



Fuente: Elaboración propia.

Para el paso 1 en el desarrollo del proyecto comenzó a través de un diagnóstico con la aplicación de la observación directa, la cual permitió el reconocimiento de todas las etapas del proceso y de las actividades realizadas y así visualizar las posibles causas que afectan la baja productividad, durante el proceso de fabricación de parabrisas: Esta técnica, se

llevó a cabo realizando una visita de campo directamente en la línea 1 encargada del curvado del parabrisas Falcon1 de la empresa.

La cual produce parabrisas en un horno de bloque curvo a unas temperaturas variables dependiendo del tipo de parabrisas a fabricar según las especificaciones técnicas requeridas dirigida a la industria automotriz, con el propósito de describir mediante el uso de fotografías recolectadas durante la visita al área objeto de estudio describir y visualizar dicho proceso.

En este sentido, se evidenció que el proceso de fabricación de envases cuenta con una serie de pasos y/o etapas las cuales comienza la carga del molde y vidrio en el porta molde, que se selecciona dependiendo del modelo a curvar y luego se selecciona el coche de moldes apilados y posicionarlos en la zona de carga y descarga, frente al horno, se revisa el carro porta molde que ingresara al horno, si la ficha técnica solicita en observaciones “compensar el molde” Luego se coloca el molde solicitado sobre los ángulos acondicionados previamente, de manera que este se encuentre totalmente nivelado y estable (ver Figura 4.13)

FIGURA 4. 12. CARRITO DE TRASLADO DE MOLDE



FIGURA 4. 13. CARRITO DE TRASLADO DE MOLDE



Seguidamente se procede a colocar el molde, que este bajo las condiciones de curvado requeridas, y verificar que la galga este correctamente ajustada al pin de ajuste (ver figura 4.14)

FIGURA 4. 14. MOLDES APILADOS.



Seguidamente se traslada la galga de la línea 1 falcón 1, hasta el área de operaciones donde se procede a curvar el vidrio requerido (Ver figuras 4.15, 4.16 y 4.17), la galga debe poseer todas las conexiones neumáticas y lógicas requeridas para las conexión final de la galga al vidrio, la presión requerida debe estar entre 0.8 y 1 Bar, verificar que las mangueras estén bien ajustadas al conector, para asegurar que no exista fugas de aire.

FIGURA 4. 15. GALGA  
DE CURVADO



FIGURA 4. 16.  
CONEXIÓN  
NEUMÁTICA



FIGURA 4. 17.  
MANÓMETRO



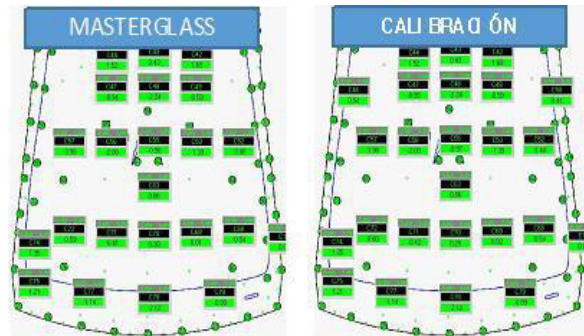
Se ajustan todas aquellas conexiones eléctricas y lógicas en el proceso de calibración de cada uno de los sensores procede a calibrar, además se procede a la calibración usando Vidrio Masterglass, colocar sobre la Galga Tecnosens ejecutar medición, pulsar teclado con space, Comparar el SNAPSHOT medido, con el original del Masterglass la variación no debe exceder de  $\pm 0.09$  mm. (Ver figuras 4.18 y 4.193)



FIGURA 4. 18. VIDRIO A CURVAR



FIGURA 4. 19. MASTERGLASS DE CALIBRACIÓN



Fuente: Elaboración propia.

Verificar status de las mantas en la corona y muletas, donde aplique, desactivar las muletas laterales (Figura 4.20) y muleta inferior (Figura 4.21), de ser el caso. Verificar el status del sistema de muletas.

FIGURA 4. 20. MULETAS LATERALES E INFERIOR



FIGURA 4. 21. MULETAS CARGANDO EL VIDRIO SIN CURVAR



Fuente: Elaboración propia.

Además se debe inclinar las dos láminas del vidrio, sujetando con ambas manos, cargar el vidrio en forma horizontal, y trasladarlo hacia el coche móvil para ingresarlo al horno. Se debe posicionar de acuerdo a los pasos mostrados con las Figuras 4.22, 4.23, 4.24 y 4.25, empujar coche de carga, hasta posicionarlo sobre los 4 lifters del vagón.

FIGURA 4. 22. VIDRIO APILADO



FIGURA 4. 23. CARGA DE VIDRIO HORIZONTAL



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 4. 24. VIDRIO COLOCADO EN EL COCHE MÓVIL



FIGURA 4. 25. VIDRIO A ENTRAR AL HORNO



Fuente: Elaboración propia.

Verificar posicionamiento del vidrio sobre la corona del molde y los topes el vagón debe ingresar al horno de curvado tal como se observa en la Figuras 4.26 y 4.27, luego del ingreso del vagón al horno, se espera del mismo a la zona de descarga voltear la chapa articulada y/o sombreros cuando aplique, hasta que la articulación sea sostenida por el soporte de acero.

**FIGURA 4. 26. VIDRIO COLOCADO  
EN EL COCHE MÓVIL**



**FIGURA 4. 27. VIDRIO A ENTRAR  
AL HORNO**



Fuente: Elaboración propia.

Para finalizar el proceso de curvado de parabrisas de la línea F1, Falcón 1, se procede a retirar el vidrio curvo con el coche de descarga para los modelos F1, luego se carga el vidrio y colocarlo en la galga del tecnosens, centralizar el vidrio en la galga para evitar errores de medición. Inspeccionar con la linterna la intensidad de la marca de molde, asimismo la presencia de defectos como rayas, fallos de serigrafía y/o chorreos limpiar fuertemente con el paño y alcohol toda la banda negra del vidrio, donde haya marca de molde (Figura 4.28 y 4.29).

**FIGURA 4. 28. CENTRALIZAR VIDRIO  
EN LA GALGA**



**FIGURA 4. 29. POSICIÓN DEL  
VIDRIO A MEDIR**



Fuente: Elaboración propia.

Se verifica la geometría, la metrología, la resistencia de cada componente existente en el parabrisas con el fin de verificar la calidad del mismo, si se encuentra dentro de los estándares de calidad establecidos.

**FIGURA 4. 30. CENTRALIZAR VIDRIO EN LA GALGA**



**FIGURA 4. 31. POSICIÓN DEL VIDRIO A MEDIR**







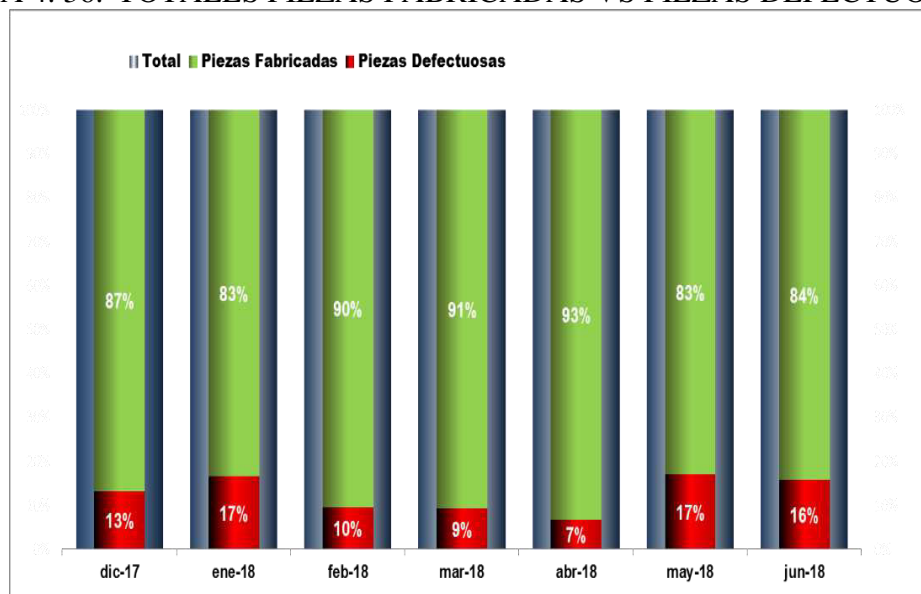
**CUADRO 4. 2. CANTIDAD DE PIEZAS PRODUCIDAS DE PARABRISAS VS  
PIEZAS DEFECTUOSAS AÑO 2017-2018.**

| <b>Año</b>  | <b>Mes</b> | <b>Total</b> | <b>Piezas<br/>Fabricadas</b> | <b>Piezas<br/>Defectuosas</b> | <b>%Piezas<br/>Fabricadas</b> | <b>% piezas<br/>Defectuosas</b> |
|-------------|------------|--------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| <b>2017</b> | dic-17     | 2500         | 2175                         | 325                           | 87%                           | 13%                             |
|             | ene-18     | 5900         | 4897                         | 1003                          | 83%                           | 17%                             |
|             | feb-18     | 3888         | 3499                         | 389                           | 90%                           | 10%                             |
| <b>2018</b> | mar-18     | 5100         | 4539                         | 561                           | 89%                           | 11%                             |
|             | abr-18     | 4000         | 3480                         | 520                           | 87%                           | 13%                             |
|             | may-18     | 5200         | 4316                         | 884                           | 83%                           | 17%                             |
|             | jun-18     | 3300         | 2640                         | 660                           | 80%                           | 20%                             |

Fuente: Elaboración propia

La información anteriormente descrita se muestra a continuación en la figura 4.36, donde se aprecia la producción defectuosa mensual oscila entre el 7 y 17% del total, valores reflejados en los reportes de producción en los últimos 6 meses durante la producción de parabrisas curvado en la línea, que demuestra que existe una cantidad de parabrisas defectuosos por cada corrida de la línea.

**FIGURA 4. 36. TOTALES PIEZAS FABRICADAS VS PIEZAS DEFECTUOSAS.**



Fuente: Elaboración propia

Para finalizar, se demostró que existen una cantidad de piezas defectuosas que provienen de las corridas del parabrisas en la línea 1, través de la aplicación de unas tormentas de ideas donde se obtuvo mediante un consenso las causas que provienen de las fallas evidenciadas en los reportes de productos defectuosos de la línea F1 Falcón 1. Denotándose que cada uno de esos defectos ver cuadro 4.3, se presume que proviene del mal control de los parámetros del horno, donde ocurren por lo general roturas en el outer, inner, quine, geometría entre otros que serán reflejados en la cuadro siguiente.

**CUADRO 4. 3. DEFECTOS EN EL HORNO.**

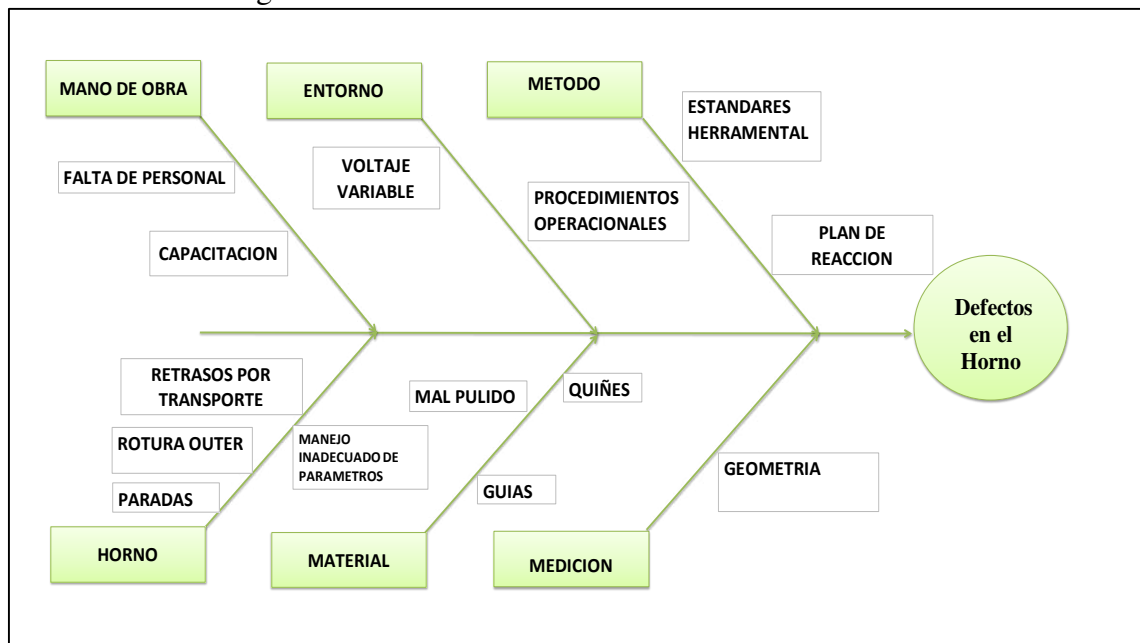
| <b>Defecto que se presenta en el Horno Glaston</b> |               |               |               |               |               |               |               |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>Defecto</b>                                     | <b>dic-17</b> | <b>ene-18</b> | <b>feb-18</b> | <b>mar-18</b> | <b>abr-18</b> | <b>may-18</b> | <b>jun-18</b> |
| Rotura Outer                                       | 80%           | 79%           | 75%           | 58%           | 57%           | 59%           | 71%           |
| Quiñe  | 9%            | 10%           | 13%           | 21%           | 26%           | 23%           | 10%           |
| Rotura Inner                                       | 8%            | 8%            | 8%            | 18%           | 13%           | 14%           | 16%           |
| Falla de Horno                                     | 1,0%          | 0,8%          | 0,9%          | 0,7%          | 0,7%          | 0,9%          | 1,0%          |
| Rotura por manipulación                            | 1,0%          | 0,9%          | 0,0%          | 0,5%          | 0,5%          | 0,8%          | 0,0%          |
| Transporte   | 1,0%          | 0,4%          | 1,0%          | 0,3%          | 0,9%          | 0,2%          | 0,5%          |
| Geometría  | 1,0%          | 1,2%          | 1,0%          | 1,2%          | 1,2%          | 1,2%          | 0,5%          |
| Otros  | 0,0%          | 0,0%          | 1,1%          | 0,4%          | 0,9%          | 0,8%          | 0,5%          |
| <b>Total</b>                                       | <b>100%</b>   | <b>100%</b>   | <b>100%</b>   | <b>100%</b>   | <b>100%</b>   | <b>100%</b>   | <b>100%</b>   |

Fuente: Reportes de Defectos de la Planta

La información mostrada en el cuadro anterior se denota que existen una serie de defectos que ocurren en el horno, en los últimos seis meses con porcentajes mínimos y máximos de ocurrencias que varían entre 1% y 80% respectivamente.

Seguidamente se desarrolló un diagrama causa-efecto que permite conocer las diferentes razones por la que suceden el elevado número de unidades defectuosas de parabrisas al momento de la culminación del proceso de curvado de vidrio. Entre las causas que destacan se encuentran, las relacionadas con el horno, manejo inadecuado de los parámetros, donde ocurren paradas no planificadas, retrasos en el transporte de los materiales, no tener procedimientos operacionales establecidos, voltaje variable en la corriente de alimentación, mal pulido entre otras (Ver figura 4.37)

FIGURA 4. 37. Diagrama Causa-efecto de la Defectos en el Horno.



Fuente: Elaboración propia.

En este sentido, al analizar la información recolectada a través de la aplicación de un diagrama de Pareto para determinar el impacto de los defectos que se ocasionan la mayor cantidad de piezas defectuosas en cada etapa del proceso productivo, con toda aquella información recabada con anterioridad.



**CUADRO 4. 4. DEFECTOS PROMEDIO Y ACUMULADO.**

| <b>Defecto</b>          | <b>Categoría del Defecto</b> | <b>Defecto Promedio</b> | <b>Acumulado</b> | <b>Descripción de los defectos</b>   |
|-------------------------|------------------------------|-------------------------|------------------|--|
| Rotura Outer            | <i>A</i>                     | 68,30%                  | 68,30%           | Defecto ocasionado por mal control de parámetros del Horno                       |
| Quiñe                   | <i>B</i>                     | 16,03%                  | 84,33%           | Defecto ocasionado por mal control de parámetros del Horno                       |
| Rotura Inner            | <i>C</i>                     | 12,10%                  | 96,43%           | Defecto ocasionado por mal control de parámetros del Horno                       |
| Falla de Horno          | <i>D</i>                     | 0,86%                   | 97,29%           | Defecto ocasionado por problemas de Mantenimiento , falla de un equipo del Horno |
| Rotura por manipulación | <i>E</i>                     | 0,55%                   | 97,84%           | Manipulación Inadecuada  |
| Transporte              | <i>F</i>                     | 0,62%                   | 98,46%           | Manipulación Inadecuada  |
| Geometría               | <i>G</i>                     | 1,04%                   | 99,50%           | Problemas de Geometría   |
| Otros                   | <i>H</i>                     | 0,53%                   | 100,00%          | Manipulación Inadecuada  |

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro N° 4.4 muestra los defectos categorizados en orden, con su promedio y el acumulado para construir el diagrama de Pareto y así analizar las fallas que inciden directamente en la ocurrencia de defectos en cada corrida de línea para la fabricación de parabrisas curvado, donde se denota que la rotura al outer, rotura al inner y quine poseen los defectos más altos, los cuales son los parámetros del horno los que traen consigo la mayor cantidad de defectos, las siguientes figuras 4.38 y 4.39 muestran el defecto mas tipo A. en el curvado de parabrisas.

FIGURA 4. 38. VISUALIZACIÓN DE DEFECTOS DEL PARABRISAS

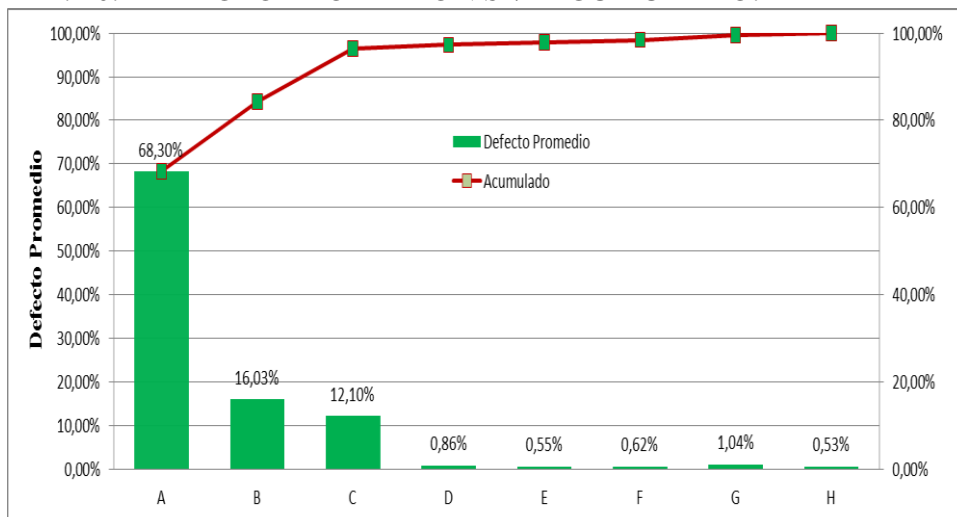


FIGURA 4. 39. ROTURA DEL OUTER



En el mismo orden de ideas la figura 4.40 se muestra el diagrama de Pareto de los defectos, A, B y C representan la mayor cantidad de piezas defectuosas durante el curvado del parabrisas. Estos defectos anteriormente como se mostró en el cuadro 4.4., fueron asociados a priori mal control de parámetros del horno por lo que a continuación se desarrollara el análisis de experimento para determinar cuáles de los dos parámetros principales del horno incide directamente sobre la variación de los defectos en el curvado del parabrisas

FIGURA 4. 40. DEFECTO PROMEDIO VS % ACUMULADO.



Fuente: Elaboración Propia

El control de parámetros del horno se especifica a continuación en el cuadro siguiente.

**CUADRO 4. 5. CONTROL DE PARÁMETROS DEL HORNO**

| <b>VAGÓN</b>                            | <b>MOLDE</b> |         |         |         |         |
|---|--------------|---------|---------|---------|---------|
| 1                                       | 52           | 8076    | 8076    | 8076    | 8076    |
| 2                                       | 78           | 8077    | 8077    | 8077    | 8077    |
| 3                                       | 73           | 8077    | 8077    | 8077    | 8077    |
| 4                                       | 63           | 8074    | 8074    | 8074    | 8074    |
| 5                                       | 43           | 8075    | 8075    | 8075    | 8075    |
| 6                                       | 79           | 8077    | 8077    | 8077    | 8077    |
| 7                                       | 56           | 8077    | 8077    | 8077    | 8077    |
| 8                                       | 69           | 8077    | 8077    | 8077    | 8077    |
| 9                                       | 51           | 8075    | 8075    | 8075    | 8075    |
| 10                                      | 47           | 8075    | 8075    | 8075    | 8075    |
| 11                                      | 74           | 8076    | 8076    | 8076    | 8076    |
| 12                                      | 66           | 8076    | 8076    | 8076    | 8076    |
| 13                                      | 60           | 8075    | 8075    | 8075    | 8075    |
| 14                                      | 48           | 8076    | 8076    | 8076    | 8076    |
| 15                                      | 54           | 8077    | 8077    | 8077    | 8077    |
| 16                                      | 70           | 8076    | 8076    | 8076    | 8076    |
| 17                                      | 59           | 8077    | 8077    | 8077    | 8077    |
| 18                                      | 46           | 8076    | 8076    | 8076    | 8076    |
| 19                                      | 68           | 8076    | 8076    | 8076    | 8076    |
| 20                                      | 40           | 8075    | 8075    | 8075    | 8075    |
| 21                                      | 80           | 8076    | 8076    | 8076    | 8076    |
| 22                                      | 67           | 8076    | 8076    | 8076    | 8076    |
| 23                                      | 41           | 8074    | 8074    | 8074    | 8074    |
| 24                                      | 33           | 8074    | 8074    | 8074    | 8074    |
| 25                                      | 37           | 8077    | 8077    | 8077    | 8077    |
| 26                                      | 75           | 8077    | 8077    | 8077    | 8077    |
| <b>Tiempo</b>                           |              | 119-122 | 125     | 126     | 126     |
| <b>Buenos</b>                           |              | 26      | 25      | 24      | 24      |
| <b>Merzas</b>                           |              | 0       | 0       | 0       | 0       |
| <b>Yield</b>                            |              | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| <b>T°-Vidrio</b>                        |              | 92      | 80      | 80      | 81      |
| <b>T°Muleta</b>                         |              | 115     | 102     | 97      | 99      |
| <b>T°Corona</b>                         |              | 133     | 128     | 132     | 128     |
| <b>Sistema de Recuperación de Calor</b> |              |         |         |         |         |
| M418.1                                  | 100,00%      | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| M418.2                                  | 100,00%      | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| M417.1                                  | 100,00%      | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| M417.2                                  | 100,00%      | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| M416.1                                  | 100,00%      | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| M416.2                                  | 100,00%      | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

|                             |         |         |         |         |         |
|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| M415.1                      | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| M415.2                      | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| <b>Tensión Eléctrica</b>    |         |         |         |         |         |
| L1                          | 383     | 384     | 382     | 382     | 384     |
| L2                          | 383     | 382     | 381     | 381     | 382     |
| L3                          | 381     | 380     | 379     | 380     | 381     |
| <b>Rampa de Temperatura</b> |         |         |         |         |         |
| PH 7                        | 557     | 554     | 555     | 552     | 550     |
| PH 8                        | 589     | 583     | 584     | 583     | 582     |
| PB 3                        | 601     | 600     | 602     | 601     | 601     |
| PB 4                        | 618     | 618     | 618     | 618     | 618     |
| B2                          | 593     | 593     | 592     | 593     | 592     |
| B3                          | 623     | 610     | 608     | 623     | 623     |
| <b>Resumen</b>              |         |         |         |         |         |
| T° CORONA                   | 133     | 128     | 132     | 128     | 130     |
| TENSIÓN                     | 382     | 382     | 381     | 381     | 382     |
| TIEMPO                      | 119-122 | 125     | 126     | 126     | 125     |
| T° PH                       |         |         |         |         |         |
| YIELD%                      | 100,0%  | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 95,80%  |

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro descrito anteriormente muestra el control de parámetros inicial de trabajo del horno a la hora de fabricar el parabrisas en la línea Falcón 1, dichos parámetros del horno fueron destacados por los especialistas fueron: tiempo de curvado, el rango de voltaje y los rangos de temperatura, los mismos se detallan a continuación:

**CUADRO 4. 6. PARÁMETROS DEL HORNO EN EL PROCESO DE CURVADO DE VIDRIO**

| <b>Tiempo de Curvado Registrados (Seg)</b> | <b>Valores de Voltaje Registrados (Voltio)</b> | <b>Rango de Temperatura Registrados (°C)</b> |    |
|--|--|--|----|
| 119-125                                    | 378  | 567-579                                      | 12 |
|  | 379  | 579-585                                      | 6  |
|  | 380  | 596-603                                      | 7  |
|  | 381  | 600-608                                      | 8  |
|  | 382  | 612-623                                      | 11 |
|  | 383  |  |    |
|  | 384  |  |    |

Fuente: Elaboración propia.

A partir de lo anterior se diseña el experimento donde se asocian como variables con niveles máximos y mínimos los parámetros de voltaje y rangos de temperatura, los cuales pueden tener incidencia directa sobre la variable de respuesta que es el porcentaje de defecto objeto de estudio en la investigación.

CUADRO 4. 7. ALEATORIZACIÓN DE LAS OBSERVACIONES PRIMERA REPLICA.

| Observaciones | Factor 1 (5 Niveles)<br>Rango de Temperatura | Factor 2 (7 Niveles)<br>Voltaje | Fracción Defecto |
|---------------|--|---------------------------------|------------------|
| O1            | 12°C   | 378                             | 12,3%            |
| O32           | 6°C  | 384                             | 22,0%            |
| O11           | 12°C   | 380                             | 1,6%             |
| O28           | 7°C  | 383                             | 27,5%            |
| O34           | 8°C  | 384                             | 23,8%            |
| O6            | 12°C   | 379                             | 8,2%             |
| O17           | 6°C  | 381                             | 13,2%            |
| O2            | 6°C  | 378                             | 12,7%            |
| O4            | 8°C  | 378                             | 21,6%            |
| O31           | 12°C   | 384                             | 16,7%            |
| O14           | 8°C  | 380                             | 16,5%            |
| O33           | 7°C  | 384                             | 20,0%            |
| O3            | 7°C  | 378                             | 3,3%             |
| O18           | 7°C  | 381                             | 12,6%            |
| O24           | 8°C  | 382                             | 26,1%            |
| O23           | 7°C  | 382                             | 24,1%            |
| O19           | 8°C  | 381                             | 0,7%             |
| O16           | 12°C   | 381                             | 26,1%            |
| O8            | 7°C  | 379                             | 8,1%             |
| O30           | 11°C   | 383                             | 16,9%            |
| O5            | 11°C   | 378                             | 22,3%            |
| O26           | 12°C   | 383                             | 0,4%             |
| O12           | 6°C  | 380                             | 10,6%            |
| O22           | 6°C  | 382                             | 9,6%             |
| O9            | 8°C  | 379                             | 28,7%            |
| O21           | 12°C   | 382                             | 19,9%            |
| O29           | 8°C  | 383                             | 16,1%            |
| O13           | 7°C  | 380                             | 2,8%             |
| O15           | 11°C   | 380                             | 24,3%            |
| O20           | 11°C   | 381                             | 7,8%             |

Fuente: Elaboración propia.

Se tomaron cinco mediciones por cada valor de voltaje y rango de temperatura obteniéndose un diseño  $2^2$  obteniéndose 175 observaciones organizadas según el cuadro 4.8.

#### 4.5.2. Medición de datos.

Para el desarrollo de la medición de experimento se realizaron 5 registros asociados a cada rango de temperatura y valor de voltaje, obteniéndose 175 registros los cuales se organizaron según el siguiente cuadro.

CUADRO 4. 8. *MEDICIÓN DE DATOS DISEÑO DE EXPERIMENTO*

| VOLTAJE | RANGOS DE TEMPERATURA |        |        |        |        |
|---------|-----------------------|--------|--------|--------|--------|
|         | 12 °C                 | 6 °C   | 7 °C   | 8 °C   | 11 °C  |
| 378 V   | 6,44%                 | 1,60%  | 9,91%  | 5,21%  | 9,63%  |
|         | 0,54%                 | 5,17%  | 1,84%  | 9,53%  | 6,32%  |
|         | 9,89%                 | 6,37%  | 9,38%  | 8,04%  | 7,03%  |
|         | 0,85%                 | 0,45%  | 6,55%  | 1,18%  | 7,06%  |
|         | 9,30%                 | 11,68% | 6,17%  | 10,38% | 8,75%  |
| 379 V   | 6,03%                 | 13,95% | 9,13%  | 14,82% | 1,21%  |
|         | 13,94%                | 13,79% | 6,64%  | 2,26%  | 1,43%  |
|         | 4,68%                 | 7,25%  | 9,74%  | 7,33%  | 3,95%  |
|         | 8,21%                 | 7,03%  | 1,39%  | 15,76% | 14,93% |
|         | 10,94%                | 14,80% | 15,26% | 9,50%  | 0,74%  |
| 380 V   | 16,39%                | 17,29% | 8,86%  | 2,43%  | 15,28% |
|         | 7,25%                 | 7,65%  | 7,64%  | 4,22%  | 2,30%  |
|         | 3,05%                 | 17,02% | 2,91%  | 8,12%  | 9,26%  |
|         | 11,11%                | 12,31% | 1,37%  | 14,35% | 8,45%  |
|         | 3,85%                 | 5,27%  | 15,51% | 0,59%  | 11,31% |
| 381 V   | 10,65%                | 1,18%  | 4,42%  | 3,00%  | 9,16%  |
|         | 21,79%                | 21,39% | 17,78% | 13,14% | 1,65%  |
|         | 22,10%                | 22,92% | 14,07% | 14,88% | 20,33% |
|         | 17,32%                | 5,63%  | 9,17%  | 6,82%  | 23,46% |
|         | 17,48%                | 22,88% | 5,16%  | 1,84%  | 11,30% |
| 382 V   | 24,14%                | 16,76% | 1,54%  | 21,51% | 7,22%  |
|         | 9,31%                 | 19,27% | 0,98%  | 7,61%  | 19,78% |
|         | 11,45%                | 18,52% | 5,12%  | 1,73%  | 11,91% |
|         | 6,63%                 | 19,51% | 24,16% | 9,00%  | 11,50% |
|         | 12,71%                | 11,63% | 3,79%  | 8,22%  | 12,20% |
| 383 V   | 15,56%                | 6,12%  | 5,60%  | 12,41% | 14,31% |
|         | 24,98%                | 20,18% | 8,20%  | 3,70%  | 10,57% |
|         | 1,29%                 | 2,01%  | 0,63%  | 24,01% | 11,24% |
|         | 13,51%                | 21,26% | 11,81% | 9,58%  | 15,05% |
|         | 21,42%                | 16,81% | 19,26% | 11,60% | 0,20%  |
| 384 V   | 11,36%                | 2,77%  | 20,92% | 14,44% | 22,59% |
|         | 10,37%                | 11,01% | 8,42%  | 20,10% | 17,84% |
|         | 11,32%                | 0,61%  | 3,47%  | 16,51% | 15,04% |
|         | 23,23%                | 14,93% | 8,45%  | 14,18% | 24,65% |
|         | 12,15%                | 16,93% | 8,03%  | 3,95%  | 14,44% |

**Fuente:** Elaboración propia.

#### **4.5.3 Análisis e interpretación de resultados**

A partir de la data anterior se procede a desarrollar el ANOVA bajo un grado de significancia del 5% con la aplicación Excel que se encuentra en el paquete office 2010, en la cual se evaluó la existencia de defectos provocados por los solamente los valores de voltaje, o solamente por los rangos de temperatura, o la interacción de ambos.



**CUADRO 4. 9. ANÁLISIS DE VARIANZA VARIAS MUESTRAS POR GRUPO**

| <b>Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo</b> |            |            |            |            |             |              |
|---|------------|------------|------------|------------|-------------|--------------|
| <b>RESUMEN</b>  | <b>12</b>  | <b>6</b>   | <b>7</b>   | <b>8</b>   | <b>11</b>   | <b>Total</b> |
| <i>378</i>  |            |            |            |            |             |              |
| Cuenta  | 5          | 5          | 5          | 5          | 5           | 25           |
| Suma  | 0,27022042 | 0,25271728 | 0,33846662 | 0,34346177 | 0,387914921 | 1,592781     |
| Promedio  | 0,05404408 | 0,05054346 | 0,06769332 | 0,06869235 | 0,077582984 | 0,06371124   |
| Varianza  | 0,00202103 | 0,00197102 | 0,00103538 | 0,00139708 | 0,000189234 | 0,00120644   |
| <i>379</i>  |            |            |            |            |             |              |
| Cuenta  | 5          | 5          | 5          | 5          | 5           | 25           |
| Suma  | 0,43790313 | 0,56812766 | 0,42151191 | 0,49661387 | 0,222559726 | 2,14671629   |
| Promedio  | 0,08758063 | 0,11362553 | 0,08430238 | 0,09932277 | 0,044511945 | 0,08586865   |
| Varianza  | 0,0013997  | 0,00150218 | 0,00254277 | 0,00309373 | 0,003586524 | 0,00257649   |
| <i>380</i>  |            |            |            |            |             |              |
| Cuenta  | 5          | 5          | 5          | 5          | 5           | 25           |
| Suma  | 0,41655616 | 0,59545027 | 0,36283098 | 0,29716622 | 0,466015042 | 2,13801867   |
| Promedio  | 0,08331123 | 0,11909005 | 0,0725662  | 0,05943324 | 0,093203008 | 0,08552075   |
| Varianza  | 0,00304538 | 0,00293696 | 0,00310822 | 0,00298564 | 0,002239486 | 0,00281078   |
| <i>381</i>  |            |            |            |            |             |              |
| Cuenta  | 5          | 5          | 5          | 5          | 5           | 25           |
| Suma  | 0,89340031 | 0,73999785 | 0,50591824 | 0,39675393 | 0,658930054 | 3,19500038   |
| Promedio  | 0,17868006 | 0,14799957 | 0,10118365 | 0,07935079 | 0,131786011 | 0,12780002   |
| Varianza  | 0,00214696 | 0,01110443 | 0,00330536 | 0,00345569 | 0,007736772 | 0,00588913   |
| <i>382</i>  |            |            |            |            |             |              |
| Cuenta  | 5          | 5          | 5          | 5          | 5           | 25           |
| Suma  | 0,64236547 | 0,85694406 | 0,35588468 | 0,48071079 | 0,626127635 | 2,96203263   |
| Promedio  | 0,12847309 | 0,17138881 | 0,07117694 | 0,09614216 | 0,125225527 | 0,11848131   |
| Varianza  | 0,00451643 | 0,00106413 | 0,00935241 | 0,00524816 | 0,002058087 | 0,00489013   |
| <i>383</i>  |            |            |            |            |             |              |
| Cuenta  | 5          | 5          | 5          | 5          | 5           | 25           |
| Suma  | 0,76765135 | 0,66381917 | 0,45504315 | 0,61301969 | 0,513784187 | 3,01331754   |
| Promedio  | 0,15353027 | 0,13276383 | 0,09100863 | 0,12260394 | 0,102756837 | 0,1205327    |
| Varianza  | 0,00826721 | 0,00755725 | 0,0048851  | 0,00547436 | 0,003543186 | 0,00546085   |
| <i>384</i>  |            |            |            |            |             |              |
| Cuenta  | 5          | 5          | 5          | 5          | 5           | 25           |
| Suma  | 0,68429227 | 0,46242766 | 0,49299489 | 0,69190778 | 0,945603617 | 3,27722621   |
| Promedio  | 0,13685845 | 0,09248553 | 0,09859898 | 0,13838156 | 0,189120723 | 0,13108905   |
| Varianza  | 0,0028887  | 0,00527688 | 0,00426616 | 0,00361491 | 0,002064667 | 0,00426855   |
| <b>Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo</b> |            |            |            |            |             |              |
| <b>RESUMEN</b>  | <b>12</b>  | <b>6</b>   | <b>7</b>   | <b>8</b>   | <b>11</b>   | <b>Total</b> |
| <i>Total</i>  |            |            |            |            |             |              |
| Cuenta  | 35         | 35         | 35         | 35         | 35          |              |
| Suma  | 4,11238911 | 4,13948396 | 2,93265046 | 3,31963403 | 3,820935184 |              |
| Promedio  | 0,11749683 | 0,11827097 | 0,08379001 | 0,09484669 | 0,109169577 |              |
| Varianza  | 0,00456697 | 0,00504703 | 0,00351687 | 0,00368844 | 0,004377974 |              |

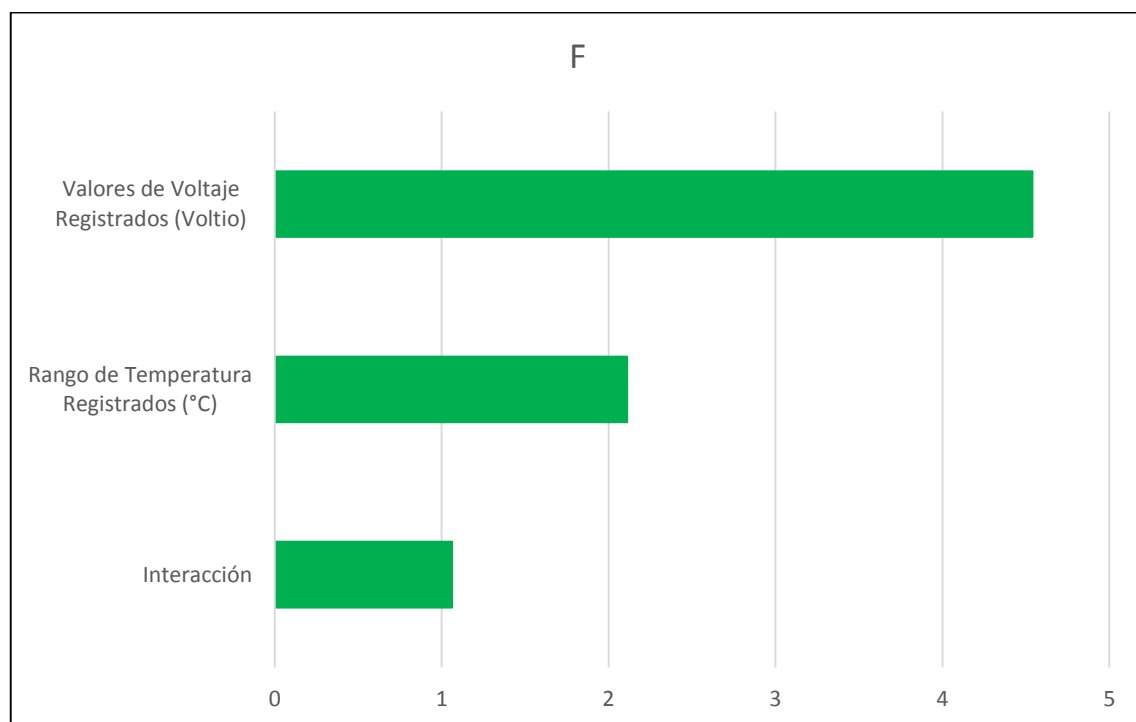
Fuente: Elaboración Propia

CUADRO 4. 10. ANÁLISIS DE VARIANZA

| Origen de las variaciones                         | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F          | Probabilidad | Valor crítico para F |
|---|-------------------|--------------------|---------------------------|------------|--------------|----------------------|
| <b>A.</b> Valores de Voltaje Registrados (Voltio) | 0,10182829        | 6                  | 0,01697138                | 4,53845454 | 0,000        | 2,16393185           |
| <b>B.</b> Rango de Temperatura Registrados (°C)   | 0,03157775        | 4                  | 0,00789444                | 2,11111552 | 0,083        | 2,43631746           |
| <b>AB.</b> Interacción Dentro del grupo           | 0,09535428        | 24                 | 0,0039731                 | 1,0624775  | 0,394        | 1,59540027           |
| Total   | 0,75228513        | 174                | 0,00373946                |            |              |                      |

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 4. 41. DIAGRAMA DE PARETO PARA LOS VALORES F.



Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis de estos resultados se plantean tres hipótesis, las cuales se comprobarán con el diseño de experimento. En este sentido, se estableció como hipótesis nulas y alternativas las siguientes:

$H_0$ = Valores de Voltaje no tienen efecto sobre la fracción defectuosa.

$H_0$ = Rango de temperatura no tiene efecto sobre la fracción defectuosa.

$H_0$ = La interacción de ambas variables no tienen efecto sobre la fracción defectuosa.

$H_A$ = Valores de Voltaje tienen efecto sobre la fracción defectuosa.

$H_B$ = Rango de temperatura tiene efecto sobre la fracción defectuosa

$H_{AB}$ = La interacción de ambas variables tienen efecto sobre la fracción defectuosa.

Según los resultados observados en el cuadro 4.10 y la figura 4.41, se aprecia que la variación en la fracción defectuosa, a un 5% de significancia, está siendo afectada por los valores de voltaje registrados, ya que el valor crítico de F fue el mayor valor calculado, en comparación con los valores de obtenidos de rango de temperatura y la interacción entre ambas variables, aunado a esto, la probabilidad asociada fue cero, siendo menor al nivel de significancia establecido, deduciendo que los valores de voltajes tienen un efecto significativo sobre la fracción defectuosa de los parabrisas elaborados, por lo cual se acepta la rechaza la hipótesis nula de los valores de voltaje y se acepta la hipótesis alternativa. De la misma manera, los valores de F para el rango de temperatura y la interacción entre las variables A y B son bajos y su probabilidad, B = 8.3% y AB=39.4% se encuentra por encima del nivel de significancia, por lo que se descarta el efecto provocado por los rangos de temperatura y el efecto de la interacción entre ambas

variables, lo que conlleva la aceptación de la hipótesis nula del rango de temperatura y de la interacción de las variables A y B.

En este contexto Gutiérrez (2008), establece que si la probabilidad es menor que el nivel de significancia establecido, se establece que el efecto de la variable es estadísticamente distinto de cero, lo que quiere decir, que tal efecto está activo o influye de manera significativa en la respuesta. Cabe mencionar, mientras más pequeño sea el valor de la probabilidad de un efecto, este es más importante. Por lo que a partir de esto se hará una revisión de los métodos de control del parámetro voltaje y se propondrá mejoras en el mismo. Se establece con el equipo de trabajo que el horno está constituido por un sistema de resistencias eléctricas las cuales son alimentadas por un voltaje específico que al realizar el trabajo de curvado, en el voltaje que alimenta las resistencias se produce una variación térmica lo cual, afecta la homogeneidad del calor, generando pequeñas distorsiones en el curvado del vidrio.

#### **4.5.4. Mejorar y controlar el proceso.**

Determinado ya, que el factor valor de voltaje incide sobre los niveles defectos en el curvado del parabrisas se desarrolla la técnica de la tormenta de ideas con el personal de la línea 1 de curvado, en total 20 personas, exponiéndose los resultados del diseño de experimento, para los cuales el personal presente emitió ideas y sugerencias de toda índole y se desarrolló una evaluación de la mejor idea, la cual se relacionó con la necesidad de la modificación del sistema del control de voltaje, por lo cual se estableció un rango específico no mayor a 2V respecto al valor promedio, para decidir cuál era ese rango, se hizo una revisión al procedimiento operacional del horno, para estableciendo

un seguimiento y control estadístico de la variable voltaje en el horno en el rango de 278 a 280 V, con el fin de mejorar las no conformidades en el curvado del parabrisas, posterior a la aplicación de la mejora propuesta se vuelve a calcular el indicador de fracción defectuosa.

**CUADRO 4. 11. MATRIZ DE VALORES OPTIMOS DEL CURVADO DE VIDRIO**

| <b>Factor 1 (4 Niveles)</b><br><b>Rango de Temperatura</b> | <b>Factor 2 (2 Niveles)</b><br><b>Voltaje</b> | <b>Frac. Defect.</b> |
|--|---|----------------------|
| 12°C   | 378   | 0,54%                |
| 12°C   |   | 0,85%                |
| 6°C  |   | 1,60%                |
| 6°C  |   | 0,45%                |
| 7°C  |   | 1,84%                |
| 8°C  | 379   | 1.18 %               |
| 7°C  |   | 1,39%                |
| 11°C   |   | 1,21%                |
| 8°C  |   | 0,74%                |
| 12°C   |   | 0,59%                |

**Fuente:** Elaboración propia.

#### **4.5.5. Verificación de los resultados.**

Luego de realizada la aplicación de las mejoras y la inserción del control eléctrico de voltaje, se realiza la revisión de los reportes de producción de la línea F1 Falcón 1 de los meses de julio y agosto, con la finalidad de verificar las fracciones de piezas defectuosas luego de la implantación de las mejoras e inserción del dispositivo de control electrónico, lo anterior se resume en la siguiente cuadro.

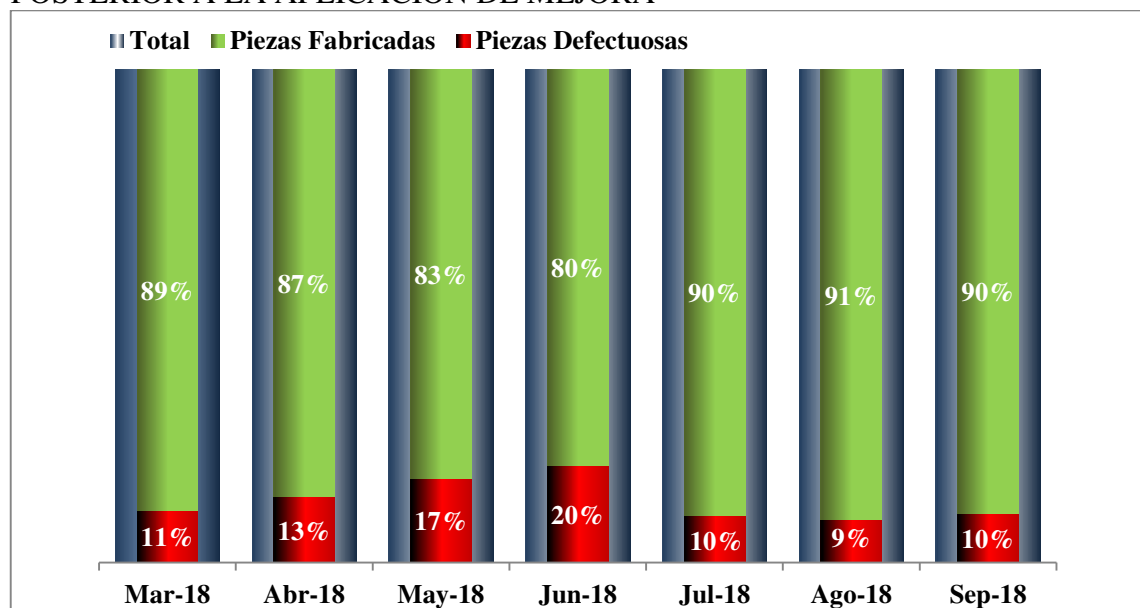
CUADRO 4. 12. CANTIDAD DE PIEZAS PRODUCIDAS DE PARABRISAS VS PIEZAS DEFECTUOSAS AÑO 2017-2018.

| Año  | Mes    | Total | Piezas Fabricadas | Piezas Defectuosas | %Piezas Fabricadas | % piezas Defectuosas |
|------|--------|-------|-------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| 2018 | mar-18 | 5100  | 4539              | 561                | 89%                | 11%                  |
|      | abr-18 | 4000  | 3480              | 520                | 87%                | 13%                  |
|      | may-18 | 5200  | 4316              | 884                | 83%                | 17%                  |
|      | jun-18 | 3300  | 2640              | 660                | 80%                | 20%                  |
|      | jul-18 | 5889  | 5300              | 589                | 90%                | 10%                  |
|      | ago-18 | 5000  | 4550              | 450                | 91%                | 9%                   |
|      | Sep-18 | 5910  | 5320              | 590                | 90%                | 10%                  |

Fuente: Elaboración propia.

La información anteriormente descrita se muestra a continuación en la figura 4.42, donde se aprecia una disminución radical de la fracción defectuosa mensual oscila entre el 10 y 9% del total, valores reflejados en los reportes de producción en los últimos 2 meses durante la producción de parabrisas curvado en la línea, que demuestra la efectividad de la aplicación de las soluciones propuestas posterior al diseño de experimento.

FIGURA 4. 42. TOTALES PIEZAS FABRICADAS VS PIEZAS DEFECTUOSAS POSTERIOR A LA APLICACIÓN DE MEJORA



Fuente: Elaboración propia.

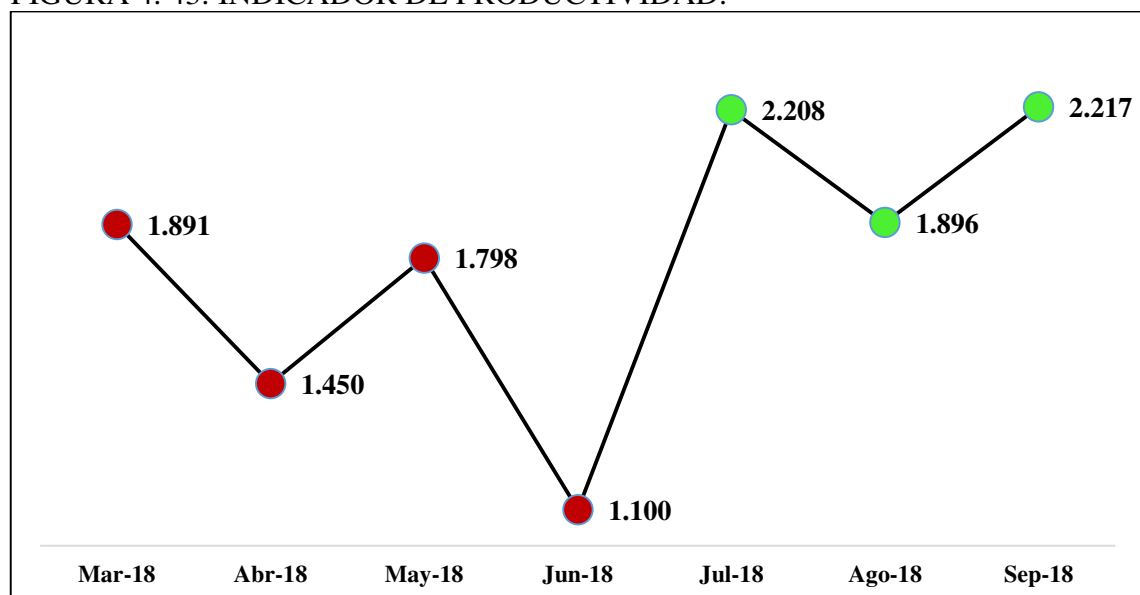
Ante el panorama anterior se estima el aumento de productividad debido al incremento del número de piezas parabrisas aptos para la distribución obteniéndose más piezas aceptables para los clientes con la misma aplicación de recursos, lo cual se refleja en el siguiente cuadro obtenida a partir de los datos de piezas no defectuosas y las horas hombres empleadas para tal elaboración.

**CUADRO 4. 13. INDICADOR DE PRODUCTIVIDAD ANTES Y DESPUÉS DE LA MEJORA**

| <b>Mes</b> | <b>Piezas no defectuosas</b> | <b>horas/hombre empleadas</b> | <b>Indicador de productividad</b> |
|------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| mar-18     | 4539                         | 2400                          | 1.891                             |
| abr-18     | 3480                         | 2400                          | 1.450                             |
| may-18     | 4316                         | 2400                          | 1.798                             |
| jun-18     | 2640                         | 2400                          | 1.100                             |
| jul-18     | 5300                         | 2400                          | 2.208                             |
| ago-18     | 4550                         | 2400                          | 1.896                             |
| sep-18     | 5320                         | 2400                          | 2.217                             |

Fuente: Elaboración Propia

**FIGURA 4. 43. INDICADOR DE PRODUCTIVIDAD.**



Fuente: Elaboración propia.

La información descrita en la figura 4.41, refleja el aumento de la productividad luego de aplicada la mejora durante tres meses (julio, agosto y septiembre), siendo estos indicadores: 2.208, 1.896 y 2.217 respectivamente, observándose que estos valores son mayores al índice más alto alcanzado antes de la mejora.



### **5.1. Conclusiones**

1. Se determinó que la fracción defectuosa de la producción promedio mensual oscila entre el 7 y 17% del total, valores reflejados en los reportes de producción en los últimos 6 meses durante la producción de parabrisas curvado en la línea.
2. Los defectos generales encontrados en los parabrisas se originan por Rotura del Outer, Quiñe, Rotura Inner, Falla de Horno, Rotura por manipulación, Transporte, Geometría; que luego de un Pareto se determina que las primeras 3 fallas representan el 96,43% del total.
3. Del ANOVA realizado se desprende que la variación en la fracción defectuosa es afectada significativamente por los valores de voltaje registrados cuyo valor crítico de F es 4,5384 con una probabilidad de ocurrencia de cero, a un nivel de significancia del 5%.
4. El aumento de la productividad luego de aplicada la mejora fue de 2.208, 1.896 y 2.217 piezas /Hombre-H, para los respectivos tres meses, evidenciándose un aumento de la productividad.
5. La implementación de esta solución redujo a la fracción defectuosa de 20% a 10% en promedio al mes.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- 1) Revisar los procesos en general para minimizar desperdicios de recursos que afectan la productividad general de la compañía y puedan desarrollar mejor eficiencia y calidad en sus productos.
- 2) Desarrollar procesos de análisis similares a todas las líneas de producción de la empresa, estableciendo así el uso de las herramientas de la calidad asociadas a la mejora continua de procesos, con la finalidad de establecer estrategias que permitan mantener bajos los niveles de defectuosidad en sus productos terminados.
- 3) Es importante capacitar al personal en el uso de herramientas estadísticas como lo son el diseño de experimentos para análisis similares y detectar estadísticamente las variables que puedan afectar directamente los resultados de un proceso en particular, para poder establecer efectivamente las correcciones pertinentes.
- 4) Es conveniente mantener la mejora propuesta mediante una revisión periódica de los equipos así como la adecuación de los manuales y procedimientos que están asociados a los nuevos hallazgos y actualizaciones de sus procesos, a fin de mantener su sustentabilidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcántara, J. (2017). “Análisis y mejora de procesos en una empresa de automatización industrial y electrificación aplicando la metodología DMAIC”. Tesis de pregrado. Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- Arias, F. (2006). El proyecto de investigación introducción a la metodología científica (5taed). Caracas, Episteme Editorial.
- Callo, P. (2017). *Propuesta de mejora para aumentar la productividad, basado en un estudio de tiempos y determinación del tiempo estándar de la línea de producción de vidrio insulado en la Corporación Vidrio Glass. Tesis de pregrado.* Universidad de San Agustín. Arequipa, Perú. Recuperado de: [https://server170.web-hosting.com:2096/cpsess1756869925/3rdparty/roundcube/?\\_task=mail&\\_action=get&\\_mbox=INBOX&\\_uid=593&\\_token=igaFMJnSR6tF3D9aGBU5eYxxP9dz0cfO&\\_part=2](https://server170.web-hosting.com:2096/cpsess1756869925/3rdparty/roundcube/?_task=mail&_action=get&_mbox=INBOX&_uid=593&_token=igaFMJnSR6tF3D9aGBU5eYxxP9dz0cfO&_part=2). Fecha de visita d/m/a
- Cuya López, K. L. (2017). Aplicación de la metodología DMAIC para mejorar la productividad en el proceso de impresión de publicidad de la empresa LVC contratistas generales S.A.C., SJL, 2017. Trabajo de grado para obtener el título de Ingeniero Industrial. Universidad /Facultad
- Georgios, K., y Glacian, A. (2017). *Productivity improvement of an industrial production system using 3D discrete event simulation. CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY.* CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. Recuperado de: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/251783/251783.pdf> fecha
- Guerrero, O. (2008). *PROCESOS DE MANUFACTURA En ingeniería industrial.* (Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD, Ed.). Retrieved from [https://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/4998/1/332571\\_Modulo2011.pdf](https://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/4998/1/332571_Modulo2011.pdf)
- Gutiérrez, H. (2008). *Análisis y Diseño de Experimentos.* McGraw Hill Internacional, Ed. México.
- Hitpass, B. (2012). *Business Process Management (BPM) Fundamentos y Conceptos de Implementación.* (B. Center, Ed.) (1era edici). Santiago de Chile. Retrieved from <https://edoc.site/bpm-business-process-management-funda-hitpass-bernhard-resumen-2-pdf-free.html>
- Luna, M. (2016). *Diseño de experimento y modelado de optimización en la industria de proceso.* Universidad Nacional del Litoral. Retrieved from <http://web10.unl.edu.ar:8080/tesis/bitstream/handle/11185/951/Tesis.pdf?sequence>

=1&isAllowed=y

- Montgomery, D. (2004). *Diseño y análisis de experimento*. (Limusa Wiley, Ed.) (2da edición). México D.F. Retrieved from <https://www.yyyy.files.wordpress.com/2013/02/disec3b1o-de-experimentosmontgomery.pdf>
- Moyano, J., Santilla, C., Sánchez, J., Rea, M., & Guaman, A. (2017). Diseño factorial mixto para control de temperaturas en las inyectoras del proceso productivo de calzado. *Revista ECA Sinergia*., 9, 109–117. Retrieved from <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/ECASinergia/article/download/938/1219>
- Navarro, C., & Paz, I. (2016). *Optimización en la capacidad de producción de un horno de curvado continuo, para aumentar la productividad en la empresa AGP Perú SAC*. Universidad Privada del Norte. Retrieved from [http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/10881/T055\\_41053748\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/10881/T055_41053748_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y) fecha de visita
- Sifuentes, A. (2017). *Mejora de la productividad en una empresa de empaques flexibles aplicando la herramienta Single Minute Exchange of Die (SMED)*. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.
- Tamayo y Tamayo (2011). El proceso de investigación científica. (2 ed.). México: Limusa
- Universidad Pedagógica Experimental Libertador. (2005). Manual de trabajos de grados de especializaciones, maestrías y tesis doctorales. (4 ed.). Caracas

## **ANEXOS**

ANEXO 1  
FOTOGRAFÍAS QUE MUESTRAN EL PROCESO PRODUCTIVO DE  
PARABRISAS.



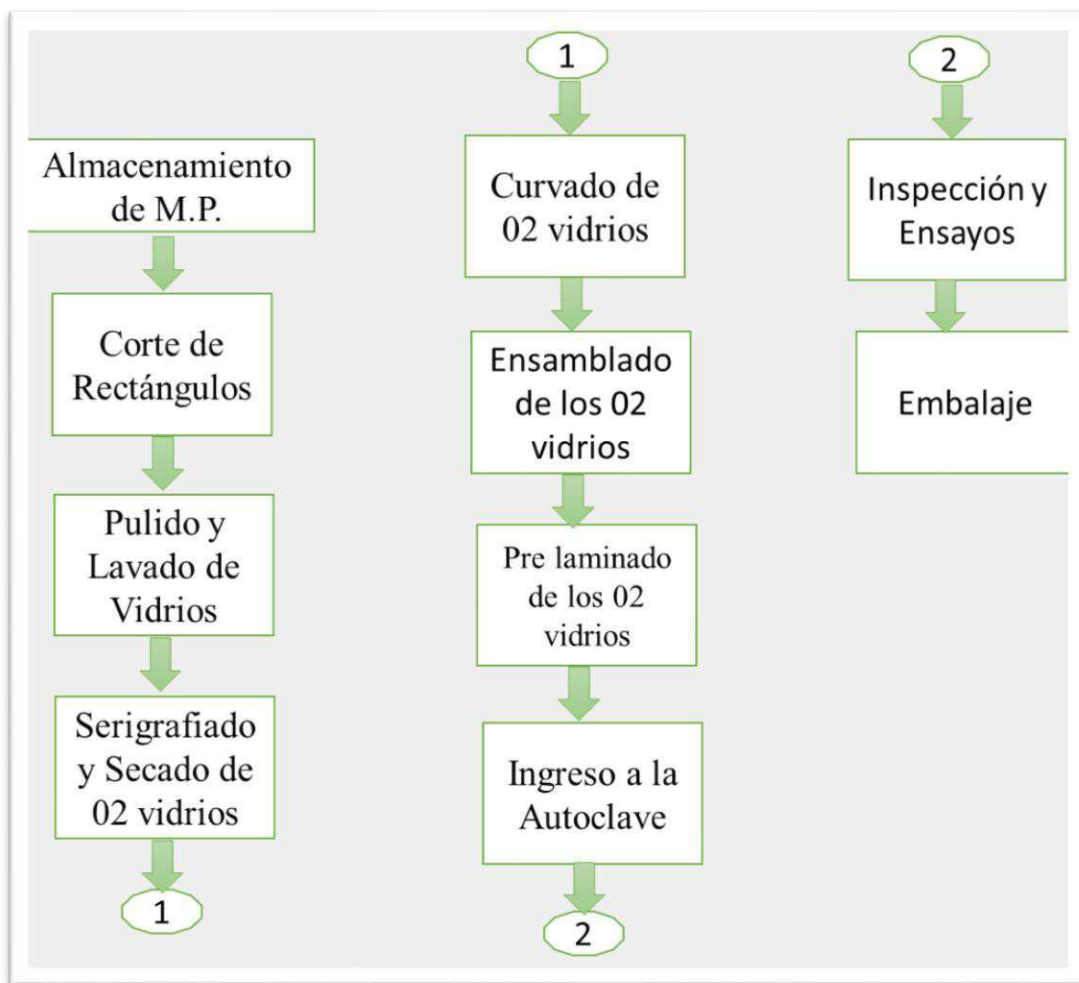






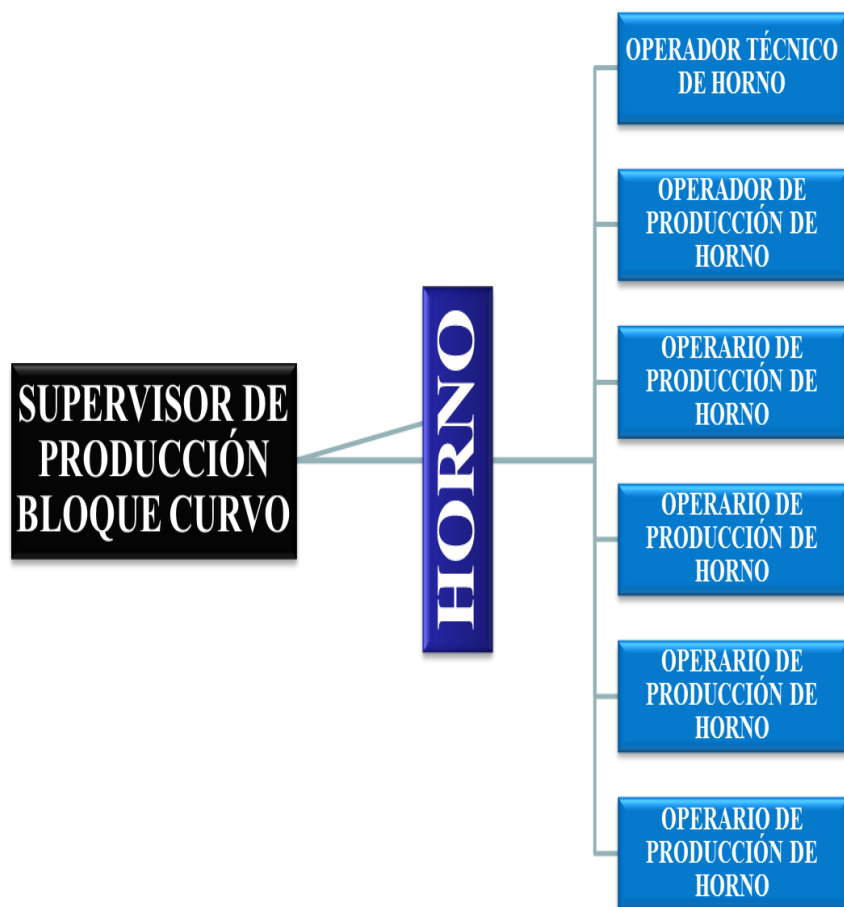


ANEXO 2  
FLUJOGRAMA DE PROCESO LÍNEA COMPLETA




Fuente: Flujo de Procesos (2016)

ANEXO 3  
ESTRUCTURA DE PROCESO BLOQUE CURVO





Fuente: Elaboración Propia


ANEXO 4  
INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO DEL HORNO



**MAINTENANCE TIMES**

 INFO

 MANUAL

 F12

**MENU**

13:08:13

|    |                       |     |           |   |   |       |
|----|-----------------------|-----|-----------|---|---|-------|
| 1  | Maintenance object 1  | OFF | SET VALUE | 0 | h | RESET |
|    | Maintenance object 1  |     | REMAINING | 0 | h |       |
| 2  | Maintenance object 2  | OFF | SET VALUE | 0 | h | RESET |
|    | Maintenance object 2  |     | REMAINING | 0 | h |       |
| 3  | Maintenance object 3  | OFF | SET VALUE | 0 | h | RESET |
|    | Maintenance object 3  |     | REMAINING | 0 | h |       |
| 4  | Maintenance object 4  | OFF | SET VALUE | 0 | h | RESET |
|    | Maintenance object 4  |     | REMAINING | 0 | h |       |
| 5  | Maintenance object 5  | OFF | SET VALUE | 1 | h | RESET |
|    | Maintenance object 5  |     | REMAINING | 0 | h |       |
| 6  | Maintenance object 6  | OFF | SET VALUE | 0 | h | RESET |
|    | Maintenance object 6  |     | REMAINING | 0 | h |       |
| 7  | Maintenance object 7  | OFF | SET VALUE | 0 | h | RESET |
|    | Maintenance object 7  |     | REMAINING | 0 | h |       |
| 8  | Maintenance object 8  | OFF | SET VALUE | 0 | h | RESET |
|    | Maintenance object 8  |     | REMAINING | 0 | h |       |
| 9  | Maintenance object 9  | OFF | SET VALUE | 0 | h | RESET |
|    | Maintenance object 9  |     | REMAINING | 0 | h |       |
| 10 | Maintenance object 10 | OFF | SET VALUE | 0 | h | RESET |
|    | Maintenance object 10 |     | REMAINING | 0 | h |       |

SAVE  
TEXT

**RUNNING TIME**

YEARS 0  
HOURS 450

| Date | Time | Message | Status |
|------|------|---------|--------|
|      |      |         |        |
|      |      |         |        |
|      |      |         |        |
|      |      |         |        |
|      |      |         |        |
|      |      |         |        |
|      |      |         |        |
|      |      |         |        |
|      |      |         |        |
|      |      |         |        |

PRINT  
PAGE

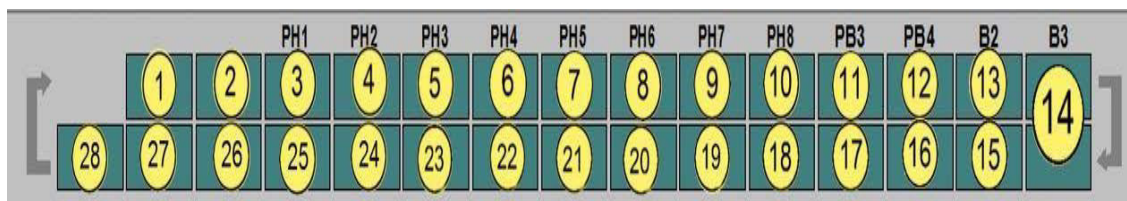
ACKNOW  
ALARMS

## Manual de Operaciones (2017)

1. Cambio de las páginas de visualización de la misma manera que en el punto 2.0.
2. Objetivo de mantenimiento.
3. Selección del objetivo de mantenimiento: **ON** u **OFF**.
4. Campo de ajuste del intervalo de mantenimiento para el mantenimiento de destino.
5. El tiempo que queda antes de que la alarma de recordatorio de mantenimiento activa.
6. La reactivación del objetivo de mantenimiento después del mantenimiento.
7. Botón de guardar para los campos del objetivo de mantenimiento
8. Contador del tiempo total de funcionamiento del horno (tiempo total en **RUN**). 1.1
9. Toda la página se puede imprimir pulsando el botón **PRINT PAGE**.
10. El reconocimiento de las alarmas se ejecuta pulsando el botón **ACKNOW ALARMS**.
11. Alarmas de mantenimiento activo pueden ser vistos en el borde inferior de la página.



ANEXO 5  
ESTRUCTURA DEL HORNO

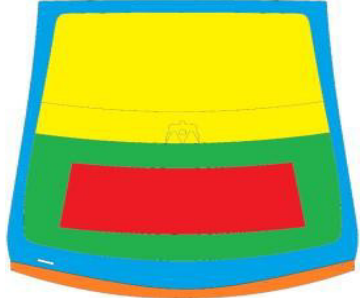



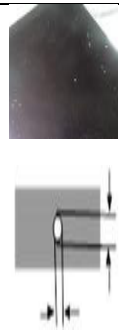

## Secciones del Horno

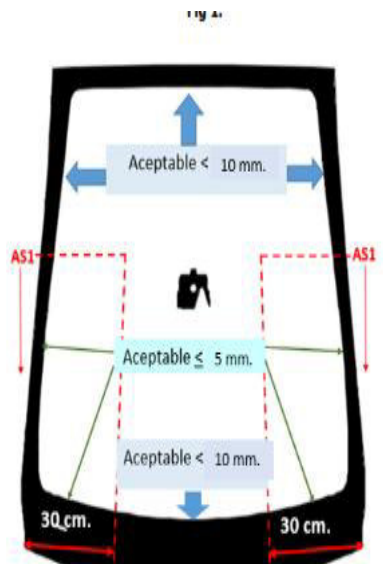
|    |                                 |    |                         |
|----|---------------------------------|----|-------------------------|
| 1  | Carga y elevador de carga       | 16 | Enfriamiento 1          |
| 2  | Bloque cero                     | 17 | Enfriamiento 2          |
| 3  | Precalentamiento 1              | 18 | Enfriamiento 3          |
| 4  | Precalentamiento 2              | 19 | Enfriamiento 4          |
| 5  | Precalentamiento 3              | 20 | Enfriamiento 5          |
| 6  | Precalentamiento 4              | 21 | Enfriamiento 6          |
| 7  | Precalentamiento 5              | 22 | Enfriamiento 7          |
| 8  | Precalentamiento 6              | 23 | Enfriamiento 8          |
| 9  | Precalentamiento 7              | 24 | Enfriamiento forzado 9  |
| 10 | Precalentamiento 8              | 25 | Enfriamiento forzado 10 |
| 11 | Pre-curvado 3                   | 26 | Enfriamiento forzado 11 |
| 12 | Pre-curvado 4                   | 27 | Enfriamiento forzado 12 |
| 13 | Doblado 2                       | 28 | Estación de Carga       |
| 14 | Doblado 3 elevación del doblado |    |                         |
| 15 | Tensión del borde               |    |                         |

Manual de Operaciones (2017)

ANEXO 6  
TABLA DE CRITERIOS DE CALIDAD DEL PRODUCTO


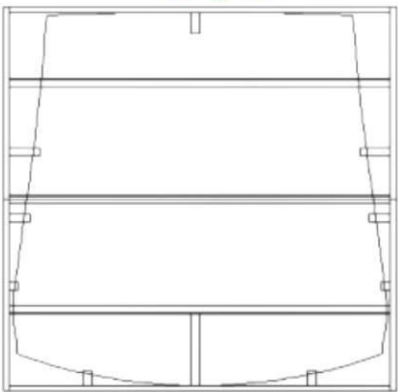
| TABLA INTERNA DE DEFECTOS COSMÉTICOS - TESLA MODEL X WINDSHIELD |                 |   |                |   |              |   | CÓDIGO  | P07-ET98   |
|---|-----------------|---|----------------|---|--------------|---|---|------------|
|   |                 |   |                |   |              |   | VERSIÓN   | 4          |
|   |                 |   |                |   |              |   | DATE  | 25/08/2017 |
| ITEM  | ZONA"           |   | ZONA "B" y "D" |   | ZONA"C"      |   | ÁREAS DE INSPECCIÓN   |            |
| COSMÉTICO   | TAMAÑO          | CANTIDAD  | TAMAÑO         | CANTIDA   | TAMAÑO       | CANTIDAD  |   |            |
|   | O               |   |                | D   | O            |   |   |            |
| Puntos Blancos  | ≤ 1 mm          | 1 defecto dentro de un diámetro de 300 mm. No exceder 9                       | ≤ 1.2 mm       | Aceptable, 10 puntos en total, 1 defecto dentro de un radio de 10 cm            | Hasta 1.5 mm | Aceptable, 10 puntos en total, 1 defecto dentro de un radio de 10 cm            |  |            |
|   | 1 a 1.5 mm      | 1 defecto   | 1.2 a 1.5 mm   | 3 defectos en total, 1 defecto dentro de un radio de 30cm                       | 1.5 a 2mm    | 3 defectos en total, 1 defecto dentro de un radio de 30cm                       |   |            |
|   | > 1.5 mm        |   | > 1.5 mm       | No Aceptable  | > 2 mm       | No Aceptable  |   |            |
| Contaminación   | ≤ 0.5 mm        |   | ≤ 0.5 mm       | Aceptable, mientras no afecte la transparencia                                  | ≤ 0.5 mm     | Aceptable, mientras no afecte la transparencia                                  |   |            |
| Manchas extensas  | 0.5 mm a 1.5 mm | 3 defectos dentro de un diámetro de 300 mm. No exceder 9 defectos en la zona. | 0.5 a 2.5 mm   | 5 defectos dentro de un área de 150 x500 mm. No exceder 12 defectos en la zona. | 0.5 a 2.5 mm | 5 defectos dentro de un área de 150 x500 mm. No exceder 12 defectos en la zona. |   |            |
|   | > 1.5 mm        | No Aceptable  | > 2.5 mm       | No Aceptable  | > 2.5 mm     | No Aceptable  |   |            |
|   | ≤ 0.8 mm        | Aceptable, mientras no afecten la   | ≤ 1 mm         | Aceptable, mientras no afecten la   | ≤ 1 mm       | Aceptable, mientras no afecten la   | ZONE "E": Los defectos debajo del área del  |            |

|   |                   |  |                       |  |                     |   |  |   |   |
|---|-------------------|--|-----------------------|--|---------------------|---|--|---|---|
| Adherencia de<br>partícula de<br>vidrio en  | > 0.8 mm          | No aceptable   | > 1 mm                | No aceptable   | > 1 mm              | No<br>aceptable   | Quiñe en bordes                                |    | Aceptable <0.5 mm   |
| Raya Fina<br>Interna  | ≤ 5 mm            | Aceptable, mientras<br>no afecte la<br>transparencia.  | ≤ 5 mm                | Aceptable, mientras no<br>afecte la<br>transparencia.  | ≤ 5 mm              | Aceptable, mientras no<br>afecte la<br>transparencia.   | Agujeros/<br>transparencia                     |    | Aceptable ≤1 mm.<br>sin retrabajo<br>Aceptable <3,0<br>mm si se retrabaja<br>con primer<br>No exceder 1<br>defecto por pieza. |
|   | 5 a 15 mm         | 3 defectos dentro de<br>un diámetro de 300<br>mm. No exceder 12<br>defectos en la zona.  | 5 a 30 mm             | 5 defectos dentro de un<br>área de 150 mm x 500<br>mm.<br>No exceder 12 defectos en<br>la zona.                                  | 5 a 30 mm           | 5 defectos dentro de un<br>área de 150 mm x 500<br>mm.<br>No exceder 12 defectos en<br>la zona.             |  |   |   |
|   | > 15 mm           | No Aceptable   | > 30 mm               | No Aceptable   | > 30 mm             | No Aceptable  |  |   |   |
| Raya Profunda<br>Interna  | No<br>Aceptable   |  | No Aceptable          |  | <2mm                | 3 defectos en total, 1<br>defecto dentro de un<br>radio de 30cm   | Marca de Molde<br>Huella de dedos,<br>raspones |  | ≤ 50 mm de<br>periferia   |
| Raya Fina Externa<br>(Aceptable,<br>mientras que<br>permita bloquear<br>sin distorsionar) | ≤ 1 mm1<br>a 5 mm | Aceptable, mientras<br>no afecte la<br>transparencia o<br>visión. 3 defectos<br>dentro de un<br>diámetro de 300<br>mm. No exceder<br>6 | ≤ 3 mm . 3<br>a 10 mm | Aceptable, mientras no<br>afecte la<br>transparencia<br>3 defectos dentro de un<br>área de 150 mm x<br>500 mm. No<br>exceder 12. | ≤ 3 mm<br>3 a 10 mm | Aceptable, mientras no<br>afecte la<br>transparencia<br>3 defectos dentro de un<br>área de 150 mm x<br>500. |  |   |   |

|                          |              |  |  |  |            |   |            |  |              |  |  |  |  |  |
|--------------------------|--------------|--|--|--|------------|---|------------|--|--------------|--|--|--|--|--|
|                          |              | Defectos en la zona.   |  | Defectos en la zona.   |            | mm. No exceder 12 defectos en la zona.                  |            |  | No aceptable |  |  |  |  |  |
|                          | 5 a 15 mm    | 1 defecto  | 10 mm a 30   | 1 defecto  | 10 mm a 30 | 1 defecto   | Fig. 1.    |  |              |  |  |  |  |  |
|                          | > 15 mm      | No Aceptable   | > 30 mm  | No Aceptable   | > 30 mm    | No  |            |  |              |  |  |  |  |  |
| Raya Profunda Externa    | No Aceptable | No Aceptable   | Zona B: No Aceptable<br>Zona D: > 30 mm No Aceptable | ≥ 30 mm No Aceptable   |            |   |            |  |              |  |  |  |  |  |
| Mancha de Pasta de Plata | No Aceptable | No Aceptable en zona B   | ≤ 0.5 mm   | Aceptable, mientras no afecte la transparencia                       |            |   |            |  |              |  |  |  |  |  |
|                          |              |  | .5 a 3 mm  | 5 defectos dentro de un área de 150 mm x 500 mm. No exceder 12 en la | 0.5 a 3 mm | 5 defectos en un área de 150 mm x 500 mm. No exceder 12 |            |  |              |  |  |  |  |  |
|                          |              |  | > 3 mm   | No aceptable   | > 3 mm     | no aceptable  |            |  |              |  |  |  |  |  |
| Mancha Agua              | No Aceptable | Zona B: No aplica  |  | No Aplica  |            |   |            |  |              |  |  |  |  |  |
|                          |              | ≤ 5 mm   | Aceptable  |  |            |   |            |  |              |  |  |  |  |  |
|                          |              | > 5 mm   | No Aceptable   |  |            |   |            |  |              |  |  |  |  |  |
| Chorro Negro             | No Aplica    | Zona B: No aplica  |  | No Aplica  |            |   |            |  |              |  |  |  |  |  |
|                          |              | Zona D: Zonas laterales debajo de AS1: Aceptable <5mm. Zonas central y laterales arriba de AS1: Aceptable <10mm. |  |  |            |   |            |  |              |  |  |  |  |  |
| APROBADO                 |              |  |  |  |            |   | FECHA      |  |              |  |  |  |  |  |
| Gerente de               |              |  | Adriano Dos Santos                                   |  |            |   | 25/08/2017 |  |              |  |  |  |  |  |

Manual de Operaciones (2017)

ANEXO 7  
SOLICITUD DE MANTENIMIENTO DEL MOLDE

|  |  |   |        |             |         |    |       |            |      |               |
|--|--|---|--------|-------------|---------|----|-------|------------|------|---------------|
|   | <b>SOLICITUD DE MANTENIMIENTO<br/>MOLDES PARA CURVADO F1</b>   | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="font-size: small;">CODIGO</td> <td>AGP P02-F36</td> </tr> <tr> <td style="font-size: small;">VERSION</td> <td>02</td> </tr> <tr> <td style="font-size: small;">FECHA</td> <td>31/07/2017</td> </tr> <tr> <td style="font-size: small;">HOJA</td> <td>pagina 1 de 1</td> </tr> </table> | CODIGO | AGP P02-F36 | VERSION | 02 | FECHA | 31/07/2017 | HOJA | pagina 1 de 1 |
| CODIGO   | AGP P02-F36  |   |        |             |         |    |       |            |      |               |
| VERSION  | 02   |   |        |             |         |    |       |            |      |               |
| FECHA  | 31/07/2017   |   |        |             |         |    |       |            |      |               |
| HOJA   | pagina 1 de 1  |   |        |             |         |    |       |            |      |               |
| <b>Modelo:</b> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">FALCON 1</span> <b>Molde Nro.:</b> <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 80px; height: 15px;"></span>                               |  |   |        |             |         |    |       |            |      |               |
| <b>Fecha de Solicitud:</b> <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 60px; height: 15px;"></span> <b>Turno:</b> <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 60px; height: 15px;"></span> |  |   |        |             |         |    |       |            |      |               |
| <b>Hora de Solicitud:</b> <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 60px; height: 15px;"></span>   |  |   |        |             |         |    |       |            |      |               |
| <b>PROBLEMA IDENTIFICADO:</b>  |  |   |        |             |         |    |       |            |      |               |
| <b>SEÑALE LA ZONA CRÍTICA Y/O AFECTADA DEL MOLDE</b>   |  |   |        |             |         |    |       |            |      |               |
| <b>VISTA SUPERIOR</b>  |  |   |        |             |         |    |       |            |      |               |
|    |  |   |        |             |         |    |       |            |      |               |
| <b>COLOCAR CON UNA X EL TIPO DE DEFECTO</b>  |  |   |        |             |         |    |       |            |      |               |
| <input type="checkbox"/> MANTA DAÑADA<br><input type="checkbox"/> PISTA DE MOLDE DEFORMADA<br><input type="checkbox"/> MERMAS POR GEOMETRÍA<br><input type="checkbox"/> OREJAS DE POSICION<br><input type="checkbox"/> LEVANTAMIENTO       | <input type="checkbox"/> SOPORTE DE CHAPA<br><input type="checkbox"/> CHAPAS<br><input type="checkbox"/> MULETAS LATERALES<br><input type="checkbox"/> MULETA INFERIOR<br><input type="checkbox"/> OTRO: _____ | <input type="checkbox"/> BASE DAÑADA<br><input type="checkbox"/> TOPES DE VIDRIO<br><input type="checkbox"/> ZAPATOS DAÑADOS<br><input type="checkbox"/> MARIPOSA   |        |             |         |    |       |            |      |               |
| <b>SOLICITANTE</b>   |  | <b>RECIBIDO</b>   |        |             |         |    |       |            |      |               |
| <b>FIRMA:</b>  |  | <b>FIRMA:</b>   |        |             |         |    |       |            |      |               |
|  |  |   |        |             |         |    |       |            |      |               |

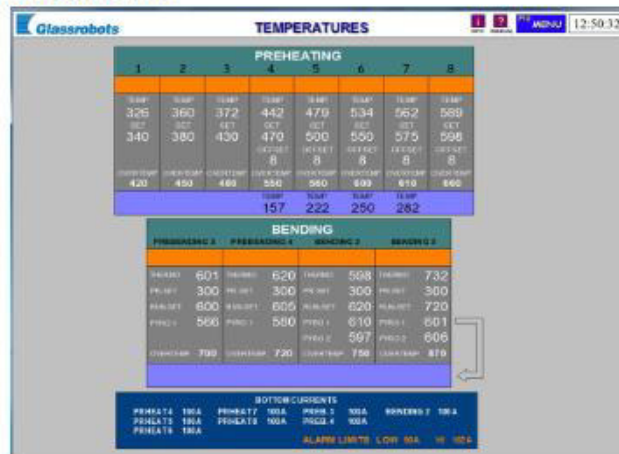
Fuente: Manual de Operaciones (2017)



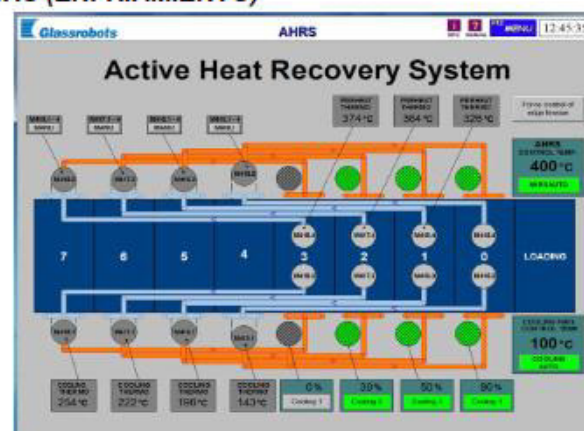
ANEXO 8  
VERIFICACIÓN DE RECETA-PARÁMETROS INICIALES

|  |                |            |
|--|----------------|------------|
|  <b>VERIFICACIÓN DE RECETA - F1</b> | <b>CODIGO</b>  | AGP15-DG06 |
|  | <b>VERSIÓN</b> | 1          |
|  | <b>FECHA</b>   | 27/10/2017 |
|  | <b>PAG.</b>    | 1 DE 5     |

## 1 TEMPERATURES



## 2 AHRs (ENFRIAMIENTO)



Fuente: Manual de Operaciones (2017)



|  |         |            |
|--|---------|------------|
|  | CODIGO  | AGP15-DG06 |
|  | VERSIÓN | 1          |
|  | FECHA   | 27/10/2017 |
|  | PAG.    | 3 DE 5     |

## 5 PREBENDING 3



## 6 PREBENDING 4



Fuente: Manual de Operaciones (2017)

## 8 BENDING 3

The screenshot shows the 'EDITOR' window of the Glassrobots 3 software. The main area is a large grid of blue and white squares, representing a game board. The grid is divided into sections by red lines. On the left side, there are several small icons representing different game pieces. Below the grid, there is a status bar showing 'DE KROEG 2' and '62°C'. At the bottom, there are buttons for 'Copy to Scrolling 1' and 'Copy to Scrolling 2'.

131

9 **WAGONS**

Fuente: Manual de Operaciones (2017)

ANEXO 9  
CONTROL DE BOMBA DE CADA VIDRIO





ANEXO 10  
PLAN DE REACCIÓN DEL HORNO


|                       |                         |         |              |                                 |  |   |                          |
|-----------------------|-------------------------|---------|--------------|---------------------------------|--|---|--------------------------|
|                       | <b>PLAN DE REACCIÓN</b> |         |              |                                 |  | CÓDIGO  | P15-PRé03                |
|                       |                         |         |              |                                 |  | VERSIÓN   | 04                       |
|                       |                         |         |              |                                 |  | FECHA   | 14-sep-17                |
|                       |                         |         |              |                                 |  | PÁGINA  | 1 de 1                   |
| ¿Qué?                 | ¿Cuándo?                | ¿Dónde? | ¿Quién?      | ¿Por qué?                       | ¿Cómo?                                     | Reacción  | Responsable              |
| Geometría /Superficie | Durante el curvado      | Horno   | Mano de obra | Exceso o falta de calentamiento | Receta incorrecta                          | Revisar la receta correcta y ajustar en caso aplique  | Operador                 |
|                       |                         |         | Máquina      |                                 | Falla de resistencia                       | Chequear las resistencia del techo y botton heating   | Mantenimiento / Operador |
|                       |                         |         | Material     | Vidrio                          | Espesor / Color / Dureza                   | Chequear lote en producción   | Laboratorio / Operador   |
|                       |                         |         | Método       | Tecnosens                       | Mala calibración                           | Chequear calibración y ajustar  | Laboratorio / Operador   |
|                       |                         |         | Método       | Control de horno                | cambio de tiempo de curvado                | Incrementar tiempo cuando se tenga baja bomba y disminuir tiempo cuando se tenga exceso de bomba.   | Operador                 |
|                       |                         |         | Método       | Control de horno                | cambio de receta en un vagón en específico | cambiar receta más caliente cuando se tenga bomba baja y receta más fría cuando se tenga bomba alta | Operador                 |
|                       |                         |         | Material     | Configuración de molde          | Cantidad , posición y espesor de chapas    | Revisar y ajusta o cambiar  | Herramental / Operador   |
|                       |                         |         |              |                                 |  |   |                          |

|                                    |                                    |                              |                 |                            |  |   |                             |
|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|-----------------|----------------------------|--|---|-----------------------------|
| <b>Contra curva<br/>perimetral</b> | <b>Durante<br/>el<br/>curvado</b>  | <b>Horno</b>                 | Material        |                            | Cantidad , posición<br>y espesor de chapas | Revisar y ajusta o<br>cambiar                             | Operador                    |
|                                    |                                    |                              | Material        | Muleta                     | Tiempo de<br>activación de la<br>muleta    | Ajustar tiempo de<br>muleta                               | Operador                    |
|                                    |                                    |                              | Material        | Tela de molde              | tela desgastada o<br>rota                  | cambio de molde con<br>tela en buen estado                | Herramental /<br>Operador   |
|                                    |                                    |                              | Mano de<br>obra | Exceso de<br>calentamiento | Receta incorrecta                          | Revisar la receta<br>correcta y ajustar                   | Operador                    |
|                                    |                                    |                              | Mano de<br>obra |                            | Operador<br>inexperiente                   | Reemplazar el operador<br>y entrenarlo                    | Supervisión                 |
|                                    |                                    |                              | Máquina         |                            | Falla de resistencia                       | Chequear las resistencia<br>del techo y botton<br>heating | Mantenimiento<br>/ Operador |
| <b>Distorsión / Pitting</b>        | <b>Durante<br/>el<br/>curvado</b>  | <b>Horno</b>                 | Mano de<br>obra | Exceso de<br>calentamiento | Receta incorrecta                          | Revisar la receta<br>correcta y ayustar                   | Operador                    |
|                                    |                                    | <b>Horno</b>                 | Máquina         | Exceso de<br>calentamiento | Falla de resistencia                       | Chequear las resistencia<br>del techo y botton<br>heating | Mantenimiento<br>/ Operador |
|                                    |                                    | <b>Horno</b>                 | Material        | Configuración de<br>molde  | cantidad , posición<br>y espesor de chapas | Revisar o cambiar   | Herramental /<br>Operador   |
|                                    | <b>Durante<br/>pre<br/>proceso</b> | <b>Bando<br/>(CNC)</b>       | Material        | Vidrio                     | Espesor / Color /<br>Dureza                | Chequear lote en<br>producción                            | Laboratorio /<br>Operador   |
|                                    |                                    | <b>Pulido /<br/>Lavadora</b> | Máquina         | Residuo de vidrio          | Falla en pulido o<br>lavadora              | chequear lavadora y<br>pulido                             | Pre proceso                 |

|                      |                                       |                    |              |                                  |   |   |                            |
|----------------------|---------------------------------------|--------------------|--------------|----------------------------------|---|---|----------------------------|
|                      | <b>Durante la aplicación de polvo</b> | <b>Empolvadora</b> | Máquina      | Polvo                            | Cantidad y homogenización en la aplicación              | Chequear la aplicación                              | operador de la empolvadora |
|                      |                                       | <b>Empolvadora</b> | Material     | Polvo                            | especificación / lote del polvo                         | Asegurar que es lo polvo correcto y vigente         | operador de la empolvadora |
|                      | <b>Durante el curvado</b>             | <b>Horno</b>       | Máquina      | Variación térmica                | Aislamiento deteriorado                                 | Reemplazar (previo quemado de aislante a > 800 °C ) | Mantenimiento / Operador   |
| <b>Levantamiento</b> | <b>Durante el curvado</b>             | <b>Horno</b>       | Mano de obra | Bomba baja / Alta                | Receta incorrecta                                       | Revisar la receta correcta y ajustar                | Operador                   |
|                      |                                       |                    |              |                                  | Falla de resistencia                                    | Chequear las resistencia del techo y botton heating | Mantenimiento / Operador   |
|                      |                                       |                    | Medición     | Sensor del tecnosens             | Mal posicionamiento (altura) y la presión de activación | Chequear y ajustar                                  | Laboratorio / Operador     |
|                      |                                       |                    | Material     | Superficie de la corona          | Falla en el paralelismo molde vs galga                  | Chequear y ajustar                                  | Mantenimiento / Operador   |
|                      |                                       |                    | Máquina      | Falla en el desarme de la muleta | Deformación y desgaste                                  | Revisar o Cambiar                                   | Herramental / Operador     |
|                      |                                       |                    |              |                                  | Tiempo de desarme equivocado                            | Ajustar el tiempo                                   | Operador                   |
|                      |                                       |                    |              |                                  | Pérdida de referencia en PLC                            | Revisar PLC y resetear en caso aplique              | Mantenimiento / Operador   |
|                      |                                       |                    |              |                                  |   |   |                            |

Fuente: Manual de Operaciones (2017)

ANEXO 11  
FORMATO DE LAS HOJAS DE IDENTIFICACIÓN DE CALIDAD DEL  
PRODUCTO.



# RECHAZADO

| N° VIDRIOS |  |
|------------|--|
| 1          |  |
| 2          |  |
| 3          |  |
| 4          |  |
| 5          |  |
| 6          |  |
| 7          |  |
| 8          |  |
| 9          |  |
| 10         |  |
| 11         |  |
| 12         |  |
| 13         |  |
| 14         |  |
| 15         |  |
| 16         |  |
| 17         |  |
| 18         |  |
| 19         |  |
| 20         |  |
| 21         |  |

**MODELO**

**DEFECTO**

**CANTIDAD**

**N° RACK**

**FECHA**

**TURNO**


**ÁREA DETECTADA**

**RESPONSABLE**

**PRODUCCIÓN/CALIDAD**

Código: AGP P07-F424
Versión: 02
Fecha: 13/07/2017

Fuente: Formatos de Control del Producto (2017)



# EN ANÁLISIS

| N° VIDRIOS |  |
|------------|--|
| 1          |  |
| 2          |  |
| 3          |  |
| 4          |  |
| 5          |  |
| 6          |  |
| 7          |  |
| 8          |  |
| 9          |  |
| 10         |  |
| 11         |  |
| 12         |  |
| 13         |  |
| 14         |  |
| 15         |  |
| 16         |  |
| 17         |  |
| 18         |  |
| 19         |  |
| 20         |  |
| 21         |  |

**MODELO**

**DEFECTO**

**CANTIDAD**

**N° RACK/COCHE/CARGA**

**FECHA**

**TURNO**

**ÁREA DETECTADA**

**RESPONSABLE**

**PRODUCCIÓN/CALIDAD**

Código: AGP P07-F424
Versión: 02
Fecha: 13/07/2017

Fuente: Formatos de Control del Producto (2017)



# RETRABAJO

| N° VIDRIOS |  |
|------------|--|
| 1          |  |
| 2          |  |
| 3          |  |
| 4          |  |
| 5          |  |
| 6          |  |
| 7          |  |
| 8          |  |
| 9          |  |
| 10         |  |
| 11         |  |
| 12         |  |
| 13         |  |
| 14         |  |
| 15         |  |
| 16         |  |
| 17         |  |
| 18         |  |
| 19         |  |
| 20         |  |
| 21         |  |

**MODELO**

**DEFECTO**

**CANTIDAD**


**N° RACK**

**FECHA**

**TURNO**

Código: AGP P07-F424
Versión: 02
Fecha: 13/07/2017

Fuente: Formatos de Control del Producto (2017)



# REPROCESO

| N° VIDRIOS |  |
|------------|--|
| 1          |  |
| 2          |  |
| 3          |  |
| 4          |  |
| 5          |  |
| 6          |  |
| 7          |  |
| 8          |  |
| 9          |  |
| 10         |  |
| 11         |  |
| 12         |  |
| 13         |  |
| 14         |  |
| 15         |  |
| 16         |  |
| 17         |  |
| 18         |  |
| 19         |  |
| 20         |  |
| 21         |  |

**MODELO**

**DEFECTO**

**CANTIDAD**

**N° RACK**

**FECHA**

**TURNO**

Código: AGP P07-F424
Versión: 02
Fecha: 13/07/2017

Fuente: Formatos de Control del Producto (2017)



# APROBADO

**MODELO**

**CANTIDAD**

**Nº RACK**

**FECHA**

**TURNO**

**RESPONSABLE APROBACIÓN**

**OBSERVACIONES**

Nº VIDRIOS

|    |  |
|----|--|
| 1  |  |
| 2  |  |
| 3  |  |
| 4  |  |
| 5  |  |
| 6  |  |
| 7  |  |
| 8  |  |
| 9  |  |
| 10 |  |
| 11 |  |
| 12 |  |
| 13 |  |
| 14 |  |
| 15 |  |
| 16 |  |
| 17 |  |
| 18 |  |
| 19 |  |
| 20 |  |
| 21 |  |

Código: AGP P07-F424

Versión: 02

Fecha: 13/07/2017

Fuente: Formatos de Control del Producto (2017)



ANEXO 12  
CHECK LIST DE ARRANQUE DEL HORNO, PARA EVITAR PARADAS.

|  |  |  |  |  |                   |
|--|--|--|--|--|-------------------|
| <b>CHECK LIST DE SET UP - PROCESO DE CURVADO</b> |  |  |  |  | CÓDIGO: P15-F82   |
|  |  |  |  |  | VERSIÓN: 4        |
|  |  |  |  |  | FECHA: 14/09/2018 |
|  |  |  |  |  | PAG. 1 DE 1       |

Técnico de horno: \_\_\_\_\_

Turno: \_\_\_\_\_

Supervisor de producción: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

| #                  | Acción a revisar   | Conform<br>e | No<br>conforme | N/<br>A | Observaciones |
|--------------------|--|--------------|----------------|---------|---------------|
| <b>OPERACIONAL</b> |  |              |                |         |               |
| 1                  | Cargar Receta de acuerdo a formato a curvar según 15-DG06 15-DG07 15-DG08  |              |                |         |               |
| 2                  | Calentamiento debe ser secuencial. Seteo cada 50°  |              |                |         |               |
| 3                  | El tiempo de ciclo durante el calentamiento debe ser de 80 seg   |              |                |         |               |
| 4                  | Verificar recetas en cada vagón de acuerdo a última campaña  |              |                |         |               |
| 5                  | Setear valores de % de variadores de extractores de aire caliente de acuerdo a configuración establecida de cada formato |              |                |         |               |

---

**6** Setear % variadores de ventilados a configuración de cada formato

**7** Configuración de "Parámetros" de acuerdo a lo establecido de cada formato

**8** Verificar valores de temperatura de entrada y salida de B3 del vidrio , de acuerdo a última campaña

**9** Setear tiempos de accionamiento de muletas

**10** verificación si ventiladores de aire para tensión de borde están prendidos

**11** Verificar el accionamiento de pistón en físico de cada Triger de cada muleta en cada lado

**12** Escribir en pizarra plan de producción de arranque de campaña ( cantidad, tipo de lados, orden, y/o pruebas)

**13** revisar la altura de los sombreros con vidrio F5 y chapa de cámara F5

**14** verificación el estado de rodamientos de lifter para evitar RAYAS

**15** verificación de topes para f1 y f2, cuando se cuadre vidrio, que esta compartido

---

**16** verificación del funcionamiento del equipo de medición de resistencia óhmica

**17** No cargar moldes, sino se tienen ordenados de acuerdo a la última campaña

**18** Verificación de la temperatura de los vidrios planos se encuentren a una temperatura menor de 40 °C

### **MATERIALES**

**1** El master glass del producto se encuentra en el área y en buen estado (¿esta rotulado?)

**2** ¿Hay vidrios sacrificio?, ¿Cuantos?, ¿Están empalmados?, ¿Con talco?

**3** ¿Hay racks nidos vacíos para acumular vidrio?

**4** ¿Hay 01 coche de vidrios planos completo para poder arrancar?

**5** ¿Puente grúa está operativo?, ¿Se realizó el check list?

**6** ¿Impresora de etiquetas operativa?, ¿Esta con tinta?

---

**7** ¿Computador para registro de producción operativo?

**8** ¿Hay etiquetas RFID de acuerdo al color de la orden?

**9** ¿Hay eslingas para amarrar vidrios de rack nido?

**10** ¿Hay espaciadores para vidrios de rack nido?

**11** ¿Hay alcohol?, ¿Se tiene una galonera llena?

**12** ¿Hay wypall?, ¿Se tiene como una caja para arrancar?

**13** Verificar stock de tiza amarilla, Stock mínimo para arrancar 04 cajas, ¿hay?

**14** ¿Se tiene disponibilidad de llaves para ajuste de sombreros?

**15** ¿Se tiene disponibilidad de afloja todo?

**16** ¿Hay linterna?, ¿Está cargada? ¿Se tiene el cargador? ¿Se tiene batería de repuesto?

---

## **METROLOGÍA**

- 1** ¿La galga de comprobación se encuentra con todos los sensores y funcionando correctamente esta calibrada?, ¿Fecha vigente de calibración?
- 2** ¿La galga de comprobación fue calibrada con el master glass de acuerdo al procedimiento operacional?
- 3** ¿Verificar presión de aire en galga de comprobación, debe ser Bar?
- 4** ¿El equipo Easy Automation fue verificado por personal de metrología antes de iniciar la producción?
- 5** ¿Easy automation esta con calibración dentro de fecha vigente?
- 6** ¿Se tiene multímetro operativo y calibrado? ¿Calibración dentro de fecha?

## **MANTENIMIENTO**

- 1** ¿Se realizó el test de resistencia en frio? ¿Se encuentra validado por el personal de mantenimiento?

---

2 ¿Se realizó el test de resistencia en caliente? , ¿Se encuentra validado por el personal de mantenimiento?

3 ¿Verificación visual de funcionamiento de ventiladores, extractores y ventiladores de tensión de borde?

4 Verificar el ajuste de carbones al 100% de todos vagones

5 Verificar correcto funcionamiento de los bottons, midiendo consumo de corriente de cada vagón con vidrio

6 Verificar el correcto funcionamiento del mecanismo de los 08 BOTTOM HEATERS

### **HERRAMENTALES**

1 ¿Los moldes a ingresar al horno se encuentran validados por herramentales?, ¿Tienen la hoja verde?

2 ¿Los moldes de respaldo se encuentran en el área de almacenamiento de moldes? y ¿fueron validados por herramentales?

3 ¿Los moldes se encuentran en el mismo orden como la última campaña?

---

**4** ¿Se está cumpliendo con la frecuencia de cambio de tela establecida para cada formato?

**5** ¿Se inventario que moldes están con tela nueva?

**6** ¿Los moldes fueron verificados por el líder técnico de horno de acuerdo a check list

**7** ¿Los pisos de los vagones se encuentran en buen estado?, ¿presentan huecos?

**8** ¿Verificar los pines de fijación en buen estado?

**9** ¿Verificar centrado de moldes, midiendo con wincha ambos lados, que estén compartidos

**10** Verificar el buen estado de la tela de acero del molde, en especial en las esquinas

**11** Verificar con personal de herramental la altura de la muleta respecto a la corona

**12** Verificar la activación de la muleta de cada molde. (Máquina en marcha)

Fuente: Check List de Arranque de Línea (2017)